



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Sistema de *Energy Harvesting* para aplicação em veículos terrestres

Henrique João Duarte Neves Rogeiro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletromecânica

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paul Manul Oliveira Fael
Orientadr: Eng.º Francisco João Anastácio Duarte

Covilhã, outubro de 2017

Agradecimentos

Ao Professor Paulo Fael pela partilha do seu conhecimento, orientação, disponibilidade e conselhos prestados ao longo deste percurso académico.

Ao meu primo Francisco Duarte e também orientador, por toda a ajuda sempre prestada e ideias que me disponibilizou ao longo deste percurso académico que levaram à elaboração desta dissertação e consequente formação académica.

Aos meus Pais por todo o apoio, dedicação e confiança que sempre depositaram em mim em toda a minha formação pessoal e académica.

E por fim, um especial agradecimento à minha namorada Inês, por toda a paciência, ajuda e grande amizade que sempre demonstrou, que me levaram a concretizar os meus objectivos ao longo deste percurso.

Resumo + palavras chave

Com a crescente preocupação relativamente às alterações climáticas, o setor energético e dos transportes têm vindo a registar várias mudanças com intuito de reduzir o seu impacto nefasto para a sociedade. Os veículos alimentados por motor de combustão interna são em muito responsáveis pela libertação de gases nocivos para o meio ambiente e as grandes empresas europeias de produção de veículos têm-se focado na construção de motores de menores dimensões e na implantação de sistemas de propulsão puramente elétricos. A pouca autonomia ainda registada neste tipo de veículos e o elevado tempo de carregamento das suas baterias tem sido um entrave no momento de aquisição por parte dos utilizadores, sendo uma grande mais-valia no futuro conseguir tornar estes veículos autossustentáveis através da captação de energia limpa proveniente de sistemas dos próprios veículos.

O desenvolvimento desta dissertação surge com o intuito de estudar e analisar as várias tecnologias de *energy harvesting*, nomeadamente solar, TEG, suspensão regenerativa, travagem regenerativa e piezoelétrica, já desenvolvidas por várias empresas e investigadores a fim de reaproveitar a energia desperdiçada nos vários sistemas ativos durante a utilização de um veículo e posteriormente conseguir transformá-la em energia elétrica para alimentar os mais variados componentes elétricos presentes num veículo. Com isto, será possível um aumento na eficiência e posteriormente um aumento na autonomia no que diz respeito aos veículos elétricos.

De modo a avaliar a potencial contribuição destas tecnologias, é apresentado um caso prático onde é feita uma análise do consumo elétrico dos vários componentes de um veículo, sendo para isso analisado três veículos com configurações diferentes: motor de combustão interna, híbrido e elétrico. Para uma análise o mais realista possível foram estimados quatro cenários, sendo dois em ambiente citadino com uma duração de quarenta minutos, em modo noturno e diurno, e os outros dois em ambiente de autoestrada com uma duração de cento e oitenta minutos, em modo noturno e diurno.

Após estimar o consumo dos diversos componentes elétricos presentes nos veículos para os respetivos cenários, é realizada uma análise comparativa com a produção de energia das diversas tecnologias de *energy harvesting*, permitindo assim analisar a sua contribuição, individual ou em simultâneo, a fim de conseguir diminuir a necessidade energética requerida pelo veículo a nível do combustível ou do sistema de armazenamento de energia.

No final são apresentadas conclusões relativas à contribuição das tecnologias atuais de *energy harvesting* para a alimentação dos componentes elétricos dos diferentes veículos, nos

diferentes cenários, assim como da sua contribuição para o aumento de autonomia dos diferentes veículos.

Palavras chave:

Energy harvesting; Veículos terrestres; Mobilidade sustentável; Motor de combustão interna; Veículo Híbrido; Veículo Elétrico.

Abstract + Keywords

With the growing concern regarding climate change, both the energy and the transport sectors have registered several changes to reduce their harmful impact on society. Vehicles powered by an internal combustion engine are largely responsible for the release of environmentally harmful gases and the major European vehicle manufacturers have focused on the construction of smaller engines and in the implementation of purely electric propulsion systems. The low autonomy of this type of vehicle and the high charging time of its batteries has been an obstacle in the moment of acquisition by the users, being a great added value in the future to be able to make these vehicles self-sustaining through the capture of clean energy systems of the vehicles themselves.

The development of this thesis intends to study and evaluate the different energy harvesting technologies with possible application in vehicles, as solar, TEG, regenerative suspension, regenerative and piezoelectric braking, which were already developed by several companies and researchers. These aim to reuse the wasted energy in the different active systems during the use of a vehicle and later these can be able to transform it into electrical energy to supply several electrical components of a vehicle. Based on this, it will be possible to increase the efficiency and, consequently, increase the autonomy of electric vehicles.

In order to evaluate the potential contribution of these technologies, a case study is presented in which an analysis of the electric consumption of the different components of a vehicle is performed, being analyzed three vehicles with different configurations: internal combustion engine, hybrid and purely electric. To perform different analysis four scenarios were defined, two in a city environment with a duration of forty minutes, considering both night and day modes, and other two in a motorway environment, with a duration of one hundred and eighty minutes, also considering night and day modes.

After estimating the consumption of the different electric components present in the vehicles for the respective scenarios, a comparative analysis is performed with the energy production of the different energy harvesting technologies, allowing us to evaluate their contribution, individually or simultaneously, in order to a reduction in the energy consumption, both in terms of fuel or from the energy storage system.

In the end, several conclusions are presented regarding the contribution of the current energy harvesting technologies to the power supply of the electric components of the different vehicles evaluated and for the different scenarios, as well as their contribution to increase the autonomy of the different vehicles.

Keywords:

Energy harvesting; Road vehicles; Sustainable mobility; Internal combustion engine; Hybrid Vehicle; Electric Vehicle.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.1.1. Tipos de veículos.....	4
1.1.2. Sustentabilidade	11
1.2. Questões de investigação	12
1.3. Objetivos da investigação	12
1.4. Estrutura da dissertação	13
2. Energy Harvesting em Veículos Terrestres	11
2.1. Introdução	15
2.2. Energia Fotovoltaica	17
2.3. Gradientes Térmicos (TEG)	22
2.4. Suspensão regenerativa	28
2.4.1. Suspensão regenerativa mecânica	29
2.4.2. Suspensão regenerativa eletromagnética	29
2.5. Travagem Regenerativa	36
2.5.1. Sistemas de armazenamento de energia elétrica	37
2.5.2. Sistemas de armazenamento de energia hidráulica	38
2.5.3. Sistemas de Recuperação de Energia Cinética (KERS)	39
2.6. Sistemas piezoelétricos.....	42
2.7. Análise técnica	47
3. Caracterização do Consumo Elétrico de Diferentes Veículos.....	49
3.1. Consumo dos componentes elétricos para um veículo alimentado por um Motor de Combustão Interna	53
3.2. Consumo dos componentes elétricos para um veículo com uma configuração Híbrida	60
3.3. Consumo dos componentes elétricos para um veículo com uma configuração totalmente elétrica	67
4. Caso de Estudo	75
4.1. Tecnologia fotovoltaica	75
4.2. Tecnologia termoeletrica	76
4.3. Tecnologia de suspensão regenerativa	77
4.4. Tecnologia de travagem regenerativa	78
4.5. Tecnologia piezoelétrica	79
4.6. Comparação entre o Consumo e a Geração de energia elétrica para as diferentes configurações	79
5. Conclusões	87
Bibliografia	91

Lista de Figuras

Figura 1: Consumo de energia final 2013 (IEA,2016)	1
Figura 2: Estimativa de vendas dos diferentes tipos de automóveis até 2040 (BNEF,2016)	2
Figura 3: Percentagem de sistemas de energia em veículos ligeiros entre 2014 e 2030 (Marques, 2016).....	3
Figura 4: Custos de operação em dólares por milha relativos a um MCI vs AEV (Arbib e Seba, 2017).....	4
Figura 5: Diferentes configurações de veículos híbridos (Ehsani <i>et al.</i> ,2005)	6
Figura 6: Estimativa de venda mundial de veículos elétricos até 2040 (Bloomberg, 2016)	9
Figura 7: Estimativa da carga anual por bateria (BNEF, 2016)	11
Figura 8: Esquema de dissipação de energia em um veículo (Zhang, 2010)	16
Figura 9: Diferentes fontes de energy harvesting para aplicação em veículos terrestres	17
Figura 10: Toyota Prius, Solar Powered Ventilation System (Toyota, 2016)	19
Figura 11: Toyota Prius 2017 (Toyota, 2016)	19
Figura 12: Hanergy Solar R (Hanergy, 2016)	20
Figura 13: Nuna3 desenvolvido pela equipa Nuon Solar Team (Nuon Solar Team, 2017).....	21
Figura 14: Sistema de recuperação calor residual (Saidur et al., 2012)	22
Figura 15: Desenho esquemático de um elemento termoelétrico (Saidur et al., 2012)	23
Figura 16: Montagem dos 32 módulos termoelétricos no tubo de escape (Mori <i>et al.</i> , 2011) ..	25
Figura 17: instalação do protótipo TEG do fabricante Honda (Mori <i>et al.</i> , 2011).....	26
Figura 18: Configuração experimental do sistema (Kim <i>et al.</i> 2011)	27
Figura 19: Esquema genérico de suspensão regenerativa (Zhongjie et al., 2013)	28
Figura 20: Comparação de suspensão convencional (esquerda) e suspensão regenerativa eletromagnética (direita) (Zuo e Zhang, 2013).	30
Figura 21: Suspensão eletromagnética ativa aplicada por Gysen <i>et. al.</i> (2011)	31
Figura 22: Suspensão eletromagnética de parafuso de esfera (Kawamoto et al., 2008).	31
Figura 23: Suspensão eletromagnética de parafuso de esfera aplicada a veículo (Kawamoto et al., 2008).....	31
Figura 24: Desenho de suspensão com sistema pinhão-cremalheira (Peng et al., 2014)	32
Figura 25: Esquema suspensão pinhão-cremalheira com sistema MMR (Peng et al., 2014)	33
Figura 26: Protótipo do sistema GenShock (Zuo e Zhang, 2013; Stanford, 2010)	34
Figura 27: Sistema eROT apresentado pelo fabricante Audi (Audi, 2016).....	35
Figura 28: Protótipo suspensão regenerativa Intertronic Gresser GmbH (Intertronic, 2016) ...	36
Figura 29: Sistema de travagem regenerativa i-ELOOP da Mazda (Mazda, 2017)	38
Figura 30: Fases de um sistema de travagem de armazenamento de energia hidráulica (Valente e Ferreira, 2009).....	39
Figura 31: Sistema KERS desenvolvido pela Volvo (Motortrend, 2013).....	41

Figura 32: Efeito piezoelétrico direto (Casimiro et al.,2009)	43
Figura 33: Efeito piezoelétrico inverso (Casimiro et al., 2009)	43
Figura 34: Geradores piezoelétricos: a) 31-mode (b) 33-mode (Ka'zmierski e Beeby, 2011) ..	43
Figura 35: Malha piezoelétrica introduzida no pneu utilizada por Makki e Pop-Iliev (2011) ..	44
Figura 36: Instalação da fita PVDF no interior do pneu usada no terceiro ensaio (Jousimaa et al., 2016).....	45
Figura 37: Componentes do sistema piezoelétrico apresentado por Jousimaa et al.(2016)	46
Figura 38: Estimativa percentual do incremento e substituição de componentes elétricos num veículo, a nível Europeu (Robert Bosch GmbH, 2007)	49
Figura 39: Evolução estimada da introdução e substituição de componentes elétricos pelas diversas funções de um veículo entre 2000 e 2010. (Robert Bosch GmbH,2007)	50
Figura 40: Consumo dos vários tipos de componentes elétricos de acordo com o grau de utilização (Robert Bosch GmbH, 2007)	51
Figura 41: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração MCI	80
Figura 42: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração PHV	82
Figura 43: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração AEV	84

Lista de Tabelas

Tabela 1: Vários materiais TEG com respectivo ZT (Tie e Tan 2013).....	24
Tabela 2: Potência dissipada de uma flywheel em vários períodos de tempo (Clegg, 1996).....	40
Tabela 3: Comparação entre os diferentes métodos de travagem regenerativa.....	42
Tabela 4: Análise comparativa das várias tecnologias.....	47
Tabela 5: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)	54
Tabela 6: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)	55
Tabela 7: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)	57
Tabela 8: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)	58
Tabela 9: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um MCI	59
Tabela 10: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um MCI	59
Tabela 11: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)	61
Tabela 12: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)	63
Tabela 13: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)	64
Tabela 14: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)	65
Tabela 15: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um PHV.....	66
Tabela 16: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um PHV.....	66
Tabela 17: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)	68
Tabela 18: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)	69
Tabela 19: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)	71
Tabela 20: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)	72

Tabela 21: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um AEV.....	73
Tabela 22: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um AEV.....	73
Tabela 23: Estimativa da geração de energia elétrica do sistema Panasonic-HIT em cada cenário	76
Tabela 24: Estimativa da geração de energia elétrica do sistema TEG apresentado pelo fabricante BMW para cada cenário apresentado.....	77
Tabela 25: Estimativa da geração de energia elétrica da tecnologia de suspensão regenerativa do fabricante Intertronic Gresser GmbH para cada cenário apresentado	77
Tabela 26: Estimativa da geração de energia elétrica da tecnologia de travagem regenerativa i-loop para cada cenário apresentado	78
Tabela 27: Energia gerada das diferentes tecnologias para cada cenário apresentado para uma configuração MCI	80
Tabela 28: Energia gerada pelas diferentes tecnologias para cada cenário apresentado, para uma configuração PHV.....	82
Tabela 29: Energia gerada das diferentes tecnologias para cada cenário apresentado para uma configuração AEV	84

Lista de Acrónimos

ACEA	Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis
AEV	All electric vehicles
BEV	Battery electric vehicle
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
DC	Direct current (Corrente contínua)
ECU	Engine control unit
EU	União Europeia
EV	Electric vehicle
HEV	Hybrid electric vehicles
HIT	Heterojunction with intrinsic Thin-layer
HLA	Hydraulic Launch Assist
HPTEG	Heat pipe thermoelectric generator
ICEV	Internal combustion engine vehicles
IEA	Agência Internacional de Energia
MCI	Motor de combustão interna
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMR	Mechanical motion rectifier
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
PHV	Plug-in hybrid vehicle
PVDF	Fluoreto de polivinilideno
PZT	Titanato de zirconato de chumbo
TEG	Thermoelectric Generator
TPMS	Tire pressure monitoring system
VLT	Mecanismo de transmissão variável

Lista de Símbolos

E	Energia cinética
I	Momento de inercia
ω	Velocidade de rotação angular
S	Potência termoeleétrica
T	Temperatura absoluta
k	Condutividade térmica
ρ	Resistividade elétrica

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Na atualidade, um dos temas que mais tem despertado atenção e interesse da sociedade, investigadores e empresas a nível mundial é a energia. Quer relativamente ao seu uso, por vezes excessivo, mas principalmente à captação “limpa” da mesma, tentando ao máximo reduzir a dependência da energia proveniente de fontes fósseis.

Segundo valores da Agência Internacional de Energia (IEA) o sector dos transportes registou em 2013 a maior parte do consumo de energia final (35%), sendo que todos os automóveis de passageiros representavam a mesma quantidade de energia que o sector residencial (21%) (IEA, 2016). Relativamente à emissão de gases com efeitos nefastos para com o ambiente, os veículos tanto de passageiros como de mercadorias são responsáveis por quase um terço do total de emissões.

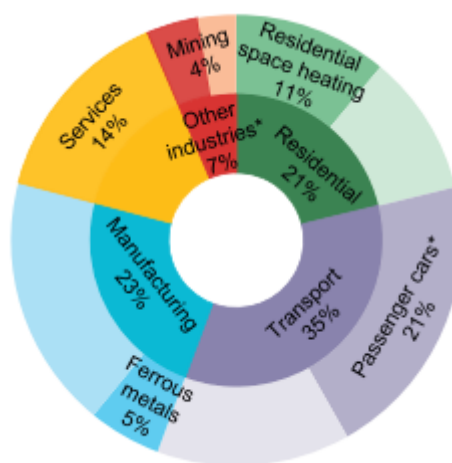


Figura 1: Consumo de energia final 2013 (IEA,2016)

As metas impostas relativamente à redução das emissões dos gases com efeito de estufa têm levado ao longo dos anos a uma forte aposta em desenvolvimentos tecnológicos que permitam uma utilização mais eficiente em veículos equipados por motores de combustão interna (MCI), a fim de reduzir as emissões poluentes e o seu consumo energético. Para que isto ocorra podemos definir duas soluções: alterar o tipo de combustível, e/ou aumentar a eficiência de conversão do automóvel. Este problema tem levado a um desafio por parte de várias empresas e investigadores no desenvolvimento e fabricação de novos métodos de colheita de energia limpa, que visam sobretudo a instalação destes sistemas em veículos

híbridos e puramente elétricos com o objetivo de aumentar o seu desempenho/autonomia e torná-los assim mais competitivos face aos automóveis movidos por um MCI.

Segundo a ExxonMobil (2016), prevê-se que em 2040 existam 1,8 bilhões de veículos no mundo inteiro, o que representa o aumento de um bilhão de veículos face aos números de 2015. Contudo, prevê-se a introdução de um maior número de automóveis considerados mais eficientes, o que fará com que o consumo energético mundial suba muito mais lentamente em relação aos anos anteriores.

Segundo a Bloomberg New Energy Finance (BNEF,2016) é visível a crescente introdução de veículos puramente elétricos ao longo dos anos, atingindo cerca de 35% em 2040 no total de venda de veículos. Na figura 2 é possível observar essa estimativa até 2040.

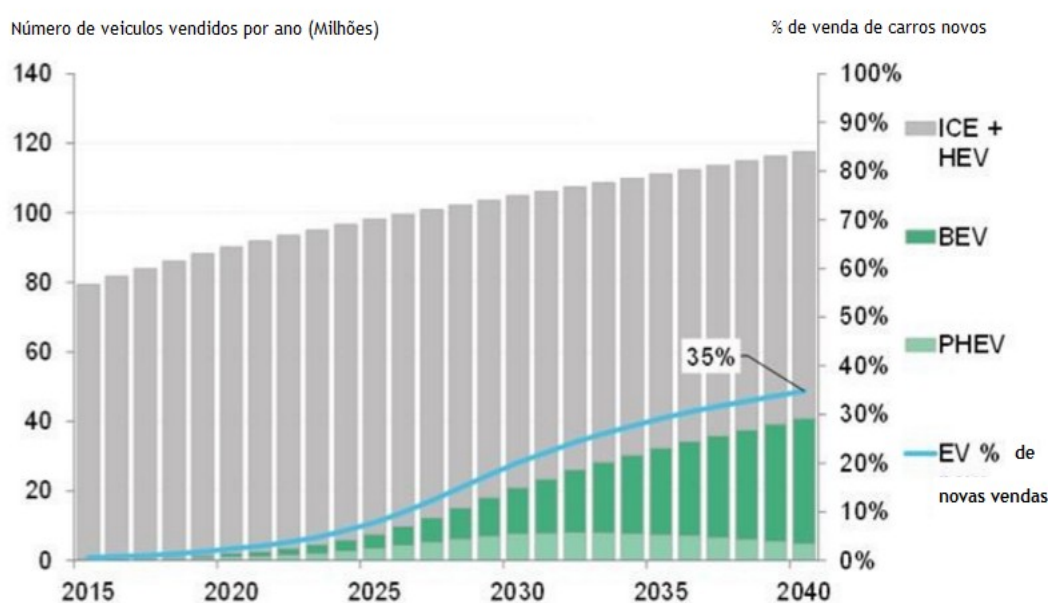


Figura 2: Estimativa de vendas dos diferentes tipos de automóveis até 2040 (BNEF,2016)

Segundo Schreffler (2017), as grandes empresas Europeias de produção de veículos estão focadas na construção de motores de menores dimensões através da aplicação de sistemas de transmissão mais robustos e sistemas de propulsão híbridos-elétricos ou puramente elétricos. De acordo com as estatísticas do mercado de veículos na União Europeia, observou-se uma redução na venda de veículos movidos a gasóleo de 53% para 52% relativamente aos anos de 2014 e 2015, embora 97% das vendas de camiões leves vendidos durante o ano de 2015 sejam alimentados por motores Diesel.

Relativamente aos automóveis alimentados por motores a gasolina, excluindo os híbridos, também se verificou uma ligeira redução no ano de 2015 de 44,5% para 44% relativamente ao ano anterior, mas face ao crescimento das vendas a nível global o seu volume de vendas cresceu de 5,6 milhões para 6 milhões de veículos. Quanto aos híbridos, a ACEA (Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis) relatou um aumento de vendas de 27,1%, correspondente a 200.854 unidades, entre os meses de janeiro e setembro de 2015

face ao mesmo período do ano anterior. Os veículos puramente elétricos registraram um aumento de vendas de 0,3% (37.540 unidades) para 0,4% (54.800 unidades), sendo os fabricantes Renault e Nissan os maiores responsáveis por este incremento (Schreffler, 2017).

Outro aspeto importante relatado pela ACEA diz respeito às reduções de gases com efeito de estufa, apresentando uma diminuição de 123 gr/km para 120 gr/km, conseguindo assim terminar abaixo do objetivo de 130 gr/km estipulado pela UE no ano de 2015. Para o ano de 2020 o objetivo passa por atingir uma meta de 95 gr/km em 95% dos fabricantes, passando esta meta a ser obrigatória para a totalidade dos fabricantes automóveis no ano seguinte (Schreffler, 2017).

De acordo com previsões futuras, as vendas de veículos de potência elétrica ganharão dinamismo, enquanto os motores de combustão interna irão recuar gradualmente. Em 2020, embora se preveja uma grande aposta, os veículos híbridos serão apenas vistos como uma tecnologia transitória para os puramente elétricos, que se tornarão na tecnologia dominante a longo prazo. Na figura seguinte é possível observar, através de uma previsão até ao ano de 2030, a percentagem de sistemas de energia em veículos na UE, América do Norte e China (Marques, 2016).

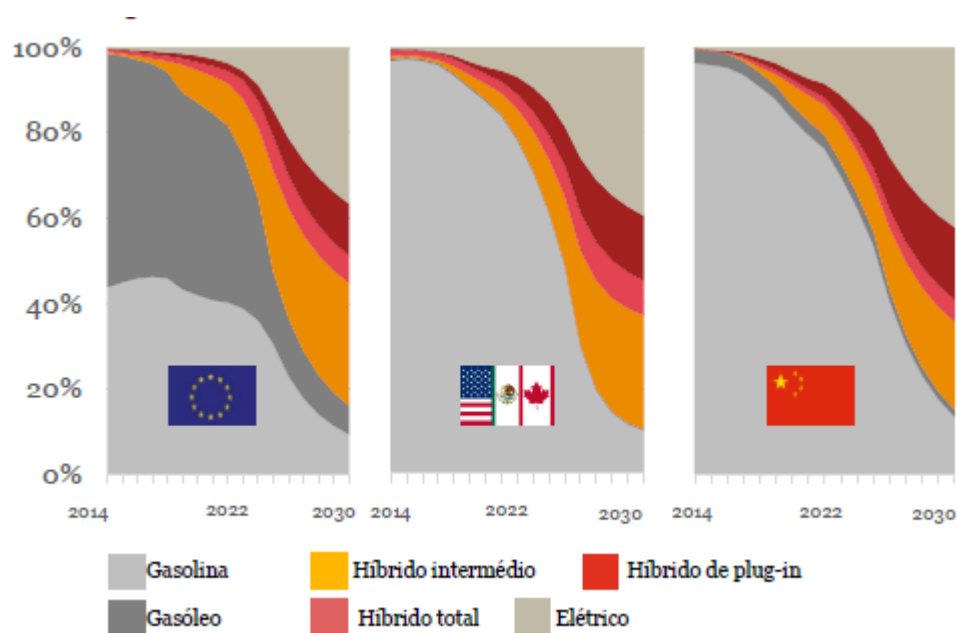


Figura 3: Percentagem de sistemas de energia em veículos ligeiros entre 2014 e 2030 (Marques, 2016)

Uma das grandes vantagens de uma transição para um conceito de mobilidade elétrica passa pela redução do custo de operação em veículos totalmente elétricos, face aos convencionais alimentados por um motor de combustão interna. Segundo Arbib e Seba (2017), existem alguns requisitos financeiros que um veículo totalmente elétrico apresenta vantajosos durante a sua operação perante um alimentado por combustão interna. Na figura seguinte é possível verificar essa comparação, onde os custos de manutenção representam a melhor

vantagem, muito devido à isenção de uma grande parte de peças mecânicas presentes nos veículos com configuração elétrica.

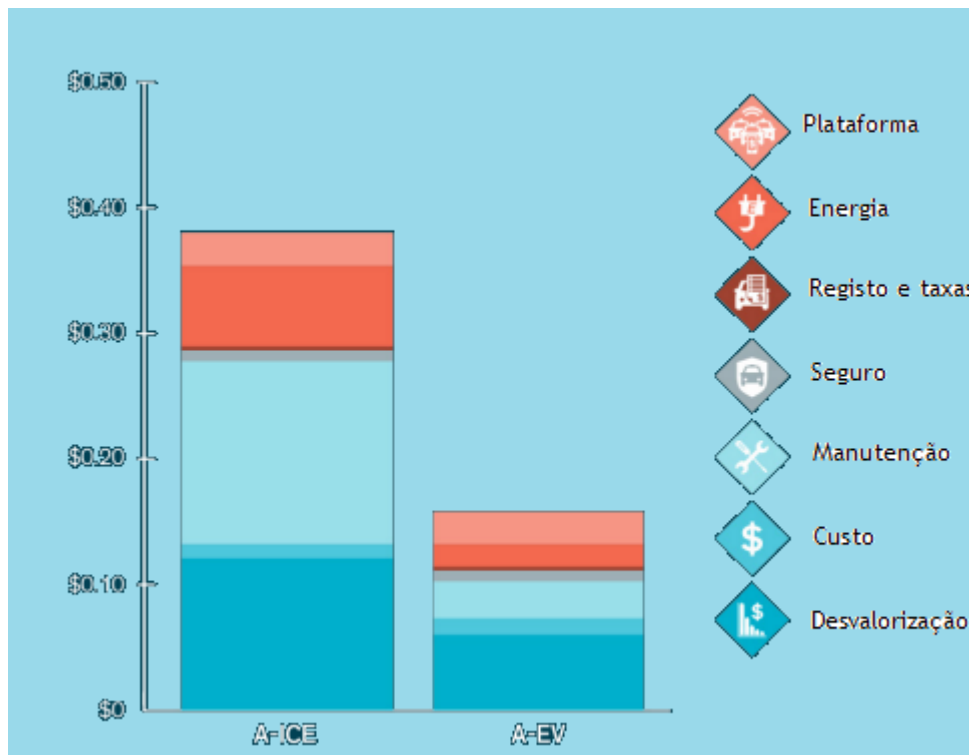


Figura 4: Custos de operação em dólares por milha relativos a um MCI vs AEV (Arbib e Seba, 2017)

É notória uma previsão otimista na introdução de veículos elétricos e híbridos face aos requisitos impostos a fim de alcançar as metas impostas para a redução de emissões de gases poluentes para a atmosfera, sendo que países como a Holanda e a Noruega avançaram já para a criação de novos diplomas legislativos que culminarão na proibição da venda de carros que não sejam totalmente elétricos a partir de 2025. De igual modo também a Índia irá adotar legislação semelhante, com o objetivo de que em 2030 a mobilidade seja totalmente elétrica (Automonitor, 2016).

Embora isto seja um bom presságio para um futuro 100% livre de emissões poluentes por parte dos veículos, é sabido que, não obstante a descida acentuada na locomoção no que diz respeito aos veículos alimentados por motores de combustão interna, o seu desaparecimento total possivelmente não se irá verificar nas décadas que se seguem.

1.1.1. Tipos de veículos

Podemos classificar os veículos em três tipos distintos: veículos com motor de combustão interna (MCI), veículos elétricos híbridos (HEV) e veículos totalmente elétricos (AEV).

- MCI - Motor de combustão interna

Todos os tipos de máquinas possuidoras de um motor de combustão interna são responsáveis pela poluição atmosférica e pela diminuição das reservas de petróleo bruto, sendo que o seu uso continua a intensificar-se, principalmente no ramo dos transportes. Devido às previsões de melhoria do nível de vida na Europa Oriental e, principalmente, na Ásia (em especial na China e na Índia), o uso deste tipo de motor irá sofrer um incremento significativo nas próximas décadas antes que outras formas de conversão de energia, por exemplo, pilhas de combustível, motores elétricos ou outro tipo de fonte de energia renovável, venham substituir o binómio motor térmico-combustíveis fósseis.

Este tipo de motor de combustão interna a pistão foi inventado no século XIX e rapidamente se tornou numa das invenções que mais impacto teve na sociedade e no nível de vida das populações. Embora em alguns transportes este tipo de motorização já tenha sido substituído por outro tipo de tecnologias, como o caso da eletrificação dos motores de comboios, no ramo rodoviário este tipo de motor continua ainda sem concorrência à altura. É possível encontrar motores térmicos com potências entre 10 W e 10 MW, sendo que a maioria apresenta valores na ordem das dezenas ou centenas de quilowatts.

Um dos aspetos mais importantes que tem vindo a ser desenvolvido pelos fabricantes deste tipo de motorização recai no seu rendimento e nas emissões poluentes destas máquinas. Ao longo das décadas tem-se vindo a verificar uma otimização no seu rendimento, conseguindo já obter valores perto dos 50% em alguns motores Diesel, e uma redução em mais de cem vezes de emissões de gases com efeito de estufa em comparação à de quarenta anos atrás (Martins, 2013).

- HEV - Hybrid electric vehicles

Por definição, segundo Emadi e Young-Joo (2008), um veículo híbrido possui duas ou mais fontes de energia a bordo do veículo, por exemplo, um motor de combustão interna, uma célula de combustível, uma bateria ou ultra condensadores.

Relativamente à sua eficiência em termos de consumo de combustível, este tipo de veículos apresenta valores mais elevados quando comparados com os veículos convencionais (MCI) devido à otimização do funcionamento do motor e à recuperação da energia cinética através da travagem. Se operado como *plug-in* (PHEV) este poderá operar totalmente elétrico com uma autonomia de 30-60km. Os PHEVs podem ser carregados, por exemplo, durante a noite através da rede elétrica, onde, por sua vez, a energia pode ser gerada das fontes renováveis (Chan, 2007).

Os veículos híbridos têm a vantagem de poder utilizar múltiplas fontes de energia para acionar a sua propulsão, direta ou indireta, podendo o seu nível de "hibridação" variar consideravelmente, sendo classificados em híbridos completos, com a fração de energia elétrica instalada a representar entre 30-50% da potência total de propulsão, ou híbridos

suaves, com uma fração de energia elétrica instalada inferior a 25% da potência final, traduzindo-se estes valores no consumo final de combustível (Chiara e Canova, 2012).

Estes tipos de veículos apresentam configurações distintas, podendo assim optar-se por uma configuração em série, em paralelo, mista ou complexa, conforme apresentado na Figura 5.

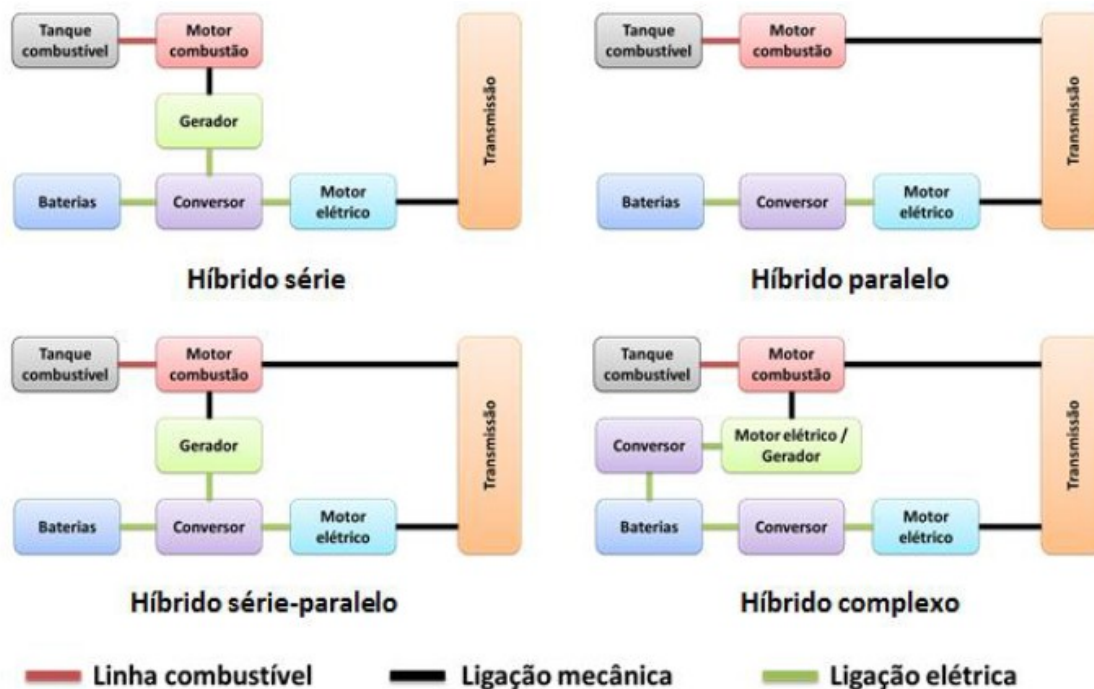


Figura 5: Diferentes configurações de veículos híbridos (Ehsani *et al.*, 2005)

Neste tipo de configuração a energia mecânica produzida pelo motor de combustão interna (MCI) é primeiramente convertida em eletricidade através de um gerador, sendo a energia elétrica resultante usada para carregar as baterias ou usada diretamente no acionamento de um motor elétrico para mover o veículo através de uma transmissão mecânica. Em situações de travagem ou desacelerações o motor elétrico irá comportar-se como gerador sendo possível carregar as baterias (Joshi e Deshmukh, 2006).

Podem operar nos diferentes modos (Chan, 2007):

- 1) Modo puramente elétrico, onde o MCI é desligado sendo apenas as rodas alimentadas pela carga das baterias;
- 2) Motor elétrico recebe energia apenas do MCI e do gerador elétrico;
- 3) Modo combinado, onde tanto o MCI como as baterias são responsáveis pelo fornecimento de energia para as rodas;
- 4) Modo de divisão de potência, onde o conjunto gerador alimenta o motor elétrico e as baterias;
- 5) Modo de carregamento estacionário, onde as baterias são alimentadas por uma fonte externa com o veículo parado;
- 6) Modo de travagem regenerativa.

➤ Híbrido paralelo

Neste tipo de configuração, tanto o MCI, como o motor elétrico, podem fornecer potência em conjunto, ou separadamente, para acionar as rodas. O motor elétrico poderá atuar como gerador no carregamento das baterias através da travagem regenerativa, ou até mesmo absorver o excesso de energia produzida pelo MCI. Relativamente à configuração em série a grande vantagem consiste na redução do tamanho dos dois motores, mas com aproveitamento semelhante (Chan, 2007).

Podem operar nos diferentes modos:

- 1) Modo puramente elétrico onde o MCI é desligado, operando apenas o elétrico;
- 2) Modo veículo convencional alimentado apenas pelo MCI, onde motor elétrico é desativado;
- 3) Modo combinado onde ambos os motores fornecem energia para a marcha do veículo;
- 4) Modo de divisão de energia, onde o MCI é responsável pela marcha do veículo e pelo carregamento das baterias operando como gerador;
- 5) Modo de carregamento estacionário;
- 6) Modo de travagem regenerativa.

➤ Híbrido série-paralelo

Considerada uma das arquiteturas mais complexas dos veículos híbridos, caracteriza-se como uma combinação das configurações em série e paralelo, tornando-se assim um sistema mais complicado e dispendioso (Chan, 2007).

Em comparação com a configuração em série apresenta uma ligação mecânica adicional entre o gerador e o motor elétrico, sendo que quando comparada com a configuração paralelo o sistema é relativamente parecido, apenas com o acrescento de um gerador adicional. Esta configuração híbrido série-paralelo pode assim combinar as vantagens das duas configurações, oferecendo ainda a possibilidade de o motor elétrico ser utilizado sozinho no arranque com o MCI desligado (Emadi *et al.*, 2005).

➤ Híbrido complexo

Nesta configuração é possível observar algumas semelhanças com a estrutura série-paralelo, com a diferença de o motor elétrico ser ligado mecanicamente ao MCI, podendo assim oferecer a possibilidade de um fluxo de energia bidirecional funcionando como motor/gerador. Esta configuração oferece um modo de funcionamento com três motores que não se observa em mais nenhuma configuração. Assim, em virtude da sua complexidade, o seu

custo é mais elevado do que as restantes, o que torna os fabricantes reticentes na adoção deste sistema (Chan, 2007).

- AEV - All electric vehicle

Segundo Ehsani *et al.* (2005) um veículo considera-se elétrico se este usar um motor elétrico para a tração, sendo as suas fontes de energia disponíveis através de baterias químicas, células de combustível, supercondensadores e/ou rodas de inércia (*flywheel* na literatura inglesa), podendo ser alimentados por via de fontes externas.

O aparecimento do primeiro veículo com propulsão a partir de um motor 100% elétrico foi inventado no século XIX, mais propriamente em 1834, obra de Thomas Davenport. Com os desenvolvimentos e popularidade deste tipo de veículos a aumentar nessa época, a sua produção nos EUA era já significativa no início do século XX, fixando-se em 28% da produção total de automóveis (Chan, 2007; Leaseplan, 2015).

Contudo, com o célere desenvolvimento dos MCI, e as limitações presentes nos AEV no que concerne às baterias e à sua baixa autonomia, verificou-se um desinteresse na produção deste tipo de veículos em 1930. Não obstante, com a forte crise energética sentida no início da década de 1970, vários países viram-se obrigados a reavivar novamente o interesse pelos veículos totalmente elétricos. Em comparação com o veículo convencional que utiliza um MCI, estes veículos totalmente elétricos distinguem-se pela ausência total das emissões, uma eficácia bem mais elevada e uma independência total de combustíveis provenientes de fontes fósseis como o petróleo (Chan, 2007).

Relativamente à configuração deste tipo de veículos, assumiu-se que a partir de um carro convencional alimentado por um MCI, e substituindo apenas os componentes de modo a torná-lo elétrico, conseguir-se-ia obter uma maior rentabilidade. Todavia, rapidamente se percebeu que factores como o seu maior peso, menor flexibilidade e degradação do desempenho teriam um impacto negativo bastante significativo no seu desempenho, levando assim a que os fabricantes criassem os seus AEV de raiz.

Com o passar do tempo, tem-se assistido ao aparecimento de diversas configurações para a elaboração deste tipo de veículos. Primeiramente optou-se por uma embraiagem, uma caixa de velocidades e um diferencial que permitia velocidades diferentes a cada roda ao curvar. Como estes dispositivos são geralmente um conjunto de engrenagens, muita energia se desperdiçava em forma de calor pelo atrito entre elas, razão pela qual se optou por dois motores de tração sendo cada um responsável apenas por uma roda motriz. Para uma simplificação maior a nível da transmissão, foi introduzido o motor diretamente na roda, conhecido por *drive in wheel* (Ehsani et al., 2005; Tie e Tan, 2013).

Uma das principais empresas revolucionárias neste tipo de veículos é a *Tesla*, apresentando dois modelos principais: o *Model S* e o *Model X*.

Estes modelos oferecem a possibilidade de instalar dois motores, um na parte dianteira e outro na parte traseira, resultando assim num controlo de tração incomparável em todas as condições. Este método evita ainda todas as ligações mecânicas existentes quando existe apenas um único motor para as quatro rodas. Toda esta tecnologia inovadora permite a distinção destes veículos conseguindo autonomias na ordem dos 430 quilómetros com um pack de baterias de 40 kWh a 100 kWh (Tesla, 2017).

Nos últimos anos, devido a todas as restrições ambientais e à grande evolução tecnológica, muitos fabricantes optaram por um desenvolvimento intensivo nesta área, sendo a Tesla, como já referenciado, um dos pioneiros destacando-se dos restantes fabricantes muito devido às grandes autonomias apresentadas nos seus veículos.

Segundo a IEA (2016), o total de automóveis elétricos vendidos a nível mundial atingiu 1,8 milhões em 2015, prevendo-se que esse número aumente para mais de 30 milhões em 2025 e mais de 150 milhões em 2040, o que resultará numa diminuição significativa do consumo de petróleo e, conseqüentemente, na considerável redução da emissão de gases com efeito de estufa.

Adicionalmente, a BNEF (2016) afirma que as constantes evoluções no que diz respeito ao fabrico de baterias farão com que, em 2025, o custo de um veículo elétrico seja inferior aos veículos alimentados por um MCI. É previsto que a venda deste tipo de veículos corresponda a 1/3 das vendas totais de veículos ligeiros novos, o que trará grandes melhorias para além do mercado automóvel.



Figura 6: Estimativa de venda mundial de veículos elétricos até 2040 (Bloomberg, 2016)

➤ Vantagens

Em comparação com os veículos convencionais possuidores de um MCI, este tipo de veículos locomovidos a partir de motores elétricos apresenta bastantes vantagens e grandes incentivos por parte da União Europeia no que diz respeito à eficiência energética, nomeadamente, através do programa *ENE2020*, incentivando assim o consumidor a ter em conta estes veículos no ato da sua compra. Para além das referidas, este tipo de veículos apresenta ainda as seguintes vantagens (Leaseplan, 2015):

- Maior eficiência (85%) em relação aos veículos convencionais alimentados por motores de combustão interna (~30%);
- O preço da energia para alimentar os seus motores é inferior ao preço do petróleo;
- Apresentam consumos energéticos muito inferiores;
- Devido à redução das partes móveis e mecânicas, apresentam uma manutenção mais reduzida, traduzindo-se numa maior fiabilidade e num menor custo operacional;
- Binário constante para diferentes rotações do motor;
- Redução muito significativa da poluição sonora;
- Apresentam sistemas de recuperação de energia, como o caso da travagem regenerativa, que reduz significativamente a necessidade de recorrer ao pedal de travão;
- Em alguns países têm benefícios no que diz respeito à isenção de pagamento de estacionamento e acesso às áreas de circulação restritas;
- Elevada fiabilidade dos motores elétricos.

➤ Problemas

Uma das grandes desvantagens deste tipo de veículos prende-se com a sua baixa autonomia. Apesar de todos os benefícios que incentivam a aquisição deste tipo de veículos, uma autonomia média de 120 quilómetros representa um entrave muito significativo no momento de compra por parte dos consumidores (Leaseplan, 2015).

Para além da sua baixa autonomia, também o seu carregamento representa uma desvantagem. Se num veículo convencional apenas é necessário despende de breves minutos para encher o depósito, num veículo elétrico o tempo que leva até um total carregamento das baterias é muito elevado. Verificando-se esse inconveniente em qualquer uma das duas opções que este fornecimento de energia elétrica apresenta: carregamento lento e carregamento rápido.

O carregamento lento, ou doméstico, é capaz de carregar 100% da bateria em cerca de oito horas, sendo, por isso, destinado a períodos noturnos, em que a tarifa da eletricidade

é mais reduzida. Por sua vez, o carregamento rápido é efetuado num posto fora da habitação, permitindo um carregamento de cerca de 70% da bateria em cerca de 30 minutos (Lugenergy, 2017).

Estes problemas relativos à autonomia e carregamento das baterias têm-se revelado ao longo dos anos como um dos principais entraves para a afirmação deste tipo de veículos.

Para obstar a esta situação, a solução passará, no futuro pela instalação de um maior número de estações de carregamento, conseguindo, dessa forma, estimular e incentivar o uso de AEV. O que levará, por sua vez, a um aumento do consumo energético, sendo a principal fonte da estação as energias renováveis (Tie e Tan, 2013).

A BNEF (2016) destaca que o custo elevado das baterias é responsável por 1/3 do custo total de um veículo elétrico e refere algumas opções para a redução desse impacto negativo, tais como incentivos por parte dos governos perante os fabricantes (que deverão reduzir o custo das baterias bem como o lucro a ele associado). A carga anual por bateria de um AEV, estimada pela BNEF, é demonstrada através do gráfico seguinte.

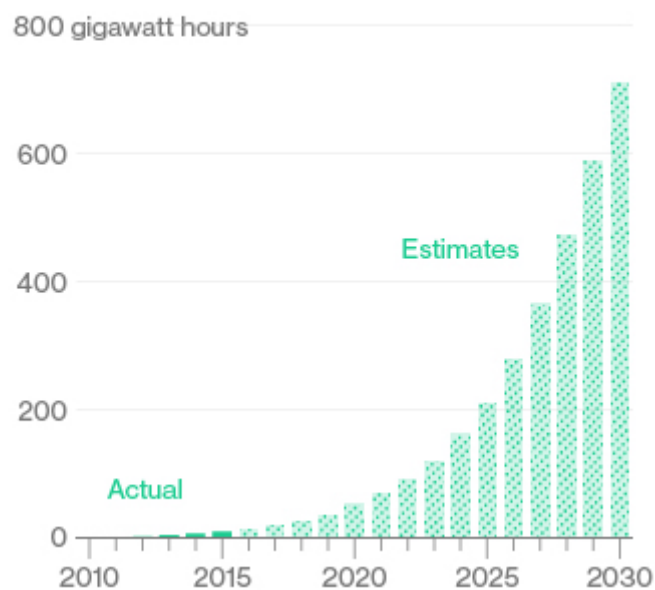


Figura 7: Estimativa da carga anual por bateria (BNEF, 2016)

1.1.2. Sustentabilidade

Quando se fala em produção, ou conversão de energia, um dos principais fatores que atualmente tem levantado grandes problemas recai sobre o seu método e as emissões de gases poluentes com efeito de estufa associadas. Sendo a queima de combustíveis fósseis a principal causa para o aquecimento global, os fabricantes automóveis têm estado atentos a estas questões ambientais e têm vindo a introduzir alterações nos veículos reduzindo consideravelmente as emissões tóxicas. Com os sucessivos aumentos do valor de petróleo e com as restrições impostas por parte das entidades competentes, os veículos híbridos e

puramente elétricos têm vindo a tornar-se numa séria aposta para o futuro, muito devido à sua propulsão ser através de energia elétrica, parcialmente, ou, totalmente.

Os veículos movidos a energia elétrica contribuem assim de forma direta para a preservação do planeta, visto que a produção desta energia, comparativamente aos veículos convencionais de motor de combustão interna alimentados por combustíveis fósseis, não apresenta qualquer tipo de poluição para o ambiente quando produzida por energia renovável.

Com o crescimento exponencial da tecnologia ao longo dos anos é possível que automóveis futuros possam gerar a sua própria energia internamente (*energy harvesting*) tornando-se assim autossustentáveis. Com isto, é possível diminuir em grande escala o consumo de recursos do planeta, o que trará benefícios claros para a diminuição do aquecimento global, designadamente, através da redução da emissão de gases com efeito de estufa, e, conseqüentemente, uma maior qualidade de vida para a população mundial.

1.2. Questões de investigação

Estando em curso uma transição de veículos alimentados por motores de combustão interna para veículos alimentados por motores elétricos, o que leva a uma maior necessidade de energia elétrica por parte destes veículos, sabendo que os veículos têm diversas perdas energéticas e sabendo que é possível, através de tecnologias específicas, captar parte desta energia e convertê-la em energia elétrica, coloca-se a seguinte questão de investigação: Com base nas tecnologias atuais de *energy harvesting*, será possível gerar energia elétrica suficiente para tornar um veículo elétrico autossustentável?

Adicionalmente, e no seguimento da questão central de investigação, coloca-se ainda a seguinte questão: Qual o aumento de autonomia máxima possível para veículos elétricos, a partir da energia elétrica produzida por fontes de *energy harvesting*, com base nas tecnologias atuais?

1.3. Objetivos da investigação

O primeiro objetivo da presente investigação consiste no estudo das tecnologias de *energy harvesting* existentes, com potencial aplicação em veículos terrestres, de modo a caracterizar o estado da arte na atualidade.

O segundo objetivo passa pela caracterização do consumo elétrico dos vários componentes relativos aos diferentes veículos, quer com motor de combustão interna, híbridos ou puramente elétricos, de modo a quantificar as suas necessidades energéticas a nível elétrico.

O terceiro e principal objetivo da investigação consiste na quantificação da energia elétrica gerada pelas diversas tecnologias estudadas e determinação da sua contribuição para as necessidades elétricas dos diferentes veículos, de modo a concluir acerca da contribuição destas fontes para melhorar a performance dos diferentes veículos.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

No capítulo 1 são apresentadas algumas considerações acerca do consumo energético por parte do setor dos transportes, mais propriamente veículos ligeiros, e um breve resumo sobre as três diferentes configurações automóveis apresentadas ao longo da investigação.

São ainda apresentadas as previsões de transição dos veículos convencionais alimentados por motores de combustão para veículos híbridos e puramente elétricos através das metas impostas pelos diversos países para que num futuro próximo seja possível a criação de veículos autossustentáveis através da captação limpa de energia a partir de sistemas de *energy harvesting* aplicado nos próprios veículos. Por fim, são apresentadas as questões de investigação, assim como os objetivos da presente investigação.

No capítulo 2 são apresentadas as diversas tecnologias de *energy harvesting* e a sua possível contribuição para uma futura aplicação em veículos terrestres, bem como alguns estudos e projetos já desenvolvidos e aplicados em protótipos por parte de diversas empresas e investigadores.

No capítulo 3 são apresentadas as três configurações de veículos analisadas nesta investigação e, através das informações disponibilizadas pelos fabricantes relativas à corrente requerida por parte de cada componente elétrico, é apresentada uma estimativa do seu consumo energético. Para isto foram definidos quatro cenários distintos, a partir dos quais é possível obter uma estimativa média da energia consumida nos vários percursos.

No capítulo 4 é apresentado o caso de estudo desta dissertação que permite analisar a potencial contribuição da geração de energia a partir de diferentes tecnologias de *energy harvesting* apresentadas, face ao consumo dos diversos componentes elétricos. Primeiramente é feita uma análise por parte de cada tecnologia apresentada e a sua possível contribuição na melhoria do consumo de combustível e/ou possível incremento na autonomia no veículo e, por fim, a possível contribuição das diferentes tecnologias quando implementadas em simultâneo nos veículos em estudo.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões da dissertação assim como possíveis trabalhos e desenvolvimentos futuros.

São apresentadas no final do trabalho as referências consultadas ao longo do estudo e que justificam a informação apresentada ao longo do trabalho.

2. *Energy Harvesting* em Veículos Terrestres

2.1. Introdução

A colheita de energia (*Energy Harvesting* na literatura inglesa) é designada por alguns autores como sendo o conceito pelo qual a energia é capturada, convertida, armazenada e utilizada, podendo esta ser captada a partir das mais diversas fontes e ser utilizada empregando *interfaces*, dispositivos de armazenamento e outras unidades em vários sistemas que necessitem de energia para o seu funcionamento. Podemos assim caracterizar a colheita de energia como sendo uma conversão de energia presente no ambiente em energia elétrica (Duarte e Ferreira, 2016).

Os autores Kazmierski e Beeby (2011) designam ainda a colheita de energia como sendo um processo muito idêntico à geração de energia renovável como a solar ou a eólica, mas com bastantes diferenças no que diz respeito à escala de produção de energia. Enquanto a colheita em larga escala se relaciona com produções de energia na ordem dos *Megawatts* (MW), os sistemas apresentados neste trabalho destinam-se a produções de energia em proporções muito inferiores, com valores tipicamente na ordem dos micro- e mili-watts (μW e mW) conseguindo-se em algumas tecnologias obter níveis de geração em escalas superiores.

Num contexto mais geral a colheita de energia divide-se em dois grupos principais (figura 9): colheita de energia numa escala macro e colheita de energia numa escala micro. As fontes de colheita de energia numa escala macro associam-se à energia solar, eólica, hidráulica e oceânica, enquanto as fontes de energia numa escala micro estão relacionadas com variações eletromagnéticas, eletrostáticas, térmicas, vibrações mecânicas, acústicas e movimentos corporais (Duarte e Ferreira, 2016).

Como a colheita de energia, independentemente da fonte, depende de vários fatores incontrolláveis pelo ser humano, este processo torna-se algo irregular, ou seja, a sua natureza é tipicamente descontínua. Isto determina a forma como os dispositivos eletrónicos que são alimentados por esta energia são operados. O seu consumo está diretamente relacionado com o seu funcionamento, podendo assim ser dividido em duas situações (Adnan, 2011):

- Dispositivo eletrónico tem possibilidade de operar continuamente quando o consumo de energia do dispositivo é menor que a potência média captada;
- Dispositivo eletrónico opera descontinuamente sendo que o tempo entre as operações depende da energia armazenada, quando o seu consumo energético é maior que a sua potência média colhida.

Ao aumento significativo dos transportes rodoviários está paralelamente ligado o aumento da procura de energia e a intensificação de problemas ambientais e sociais que contribuem negativamente para o nosso planeta. Para combater estes pontos foi necessário recorrer a soluções alternativas de colheita de energia, com o objetivo de tornar os veículos mais eficientes (Giannouli e Yianoulis, 2012). Aplicando estes métodos de colheita de energia a veículos terrestres, é necessário em primeiro lugar perceber onde existe dissipação de energia e como esta pode ser aproveitada.

Em veículos convencionais, que utilizam um motor de combustão interna, a dissipação de energia é causada, em grande parte, pelas paredes do motor e pelo líquido de arrefecimento do motor através de energia térmica, bem como pela energia desperdiçada para o ambiente transportada pelos gases de escape. Também a energia dissipada por atrito, resultante do contacto dos pneus com o solo e do acionamento dos sistemas de travagem (disco-pastilha), é de igual modo tomada em conta como um dos grandes dissipadores de energia num automóvel (Chiara e Canova, 2012). Na figura 8 é possível ter uma perceção de todas as perdas energéticas de um veículo, das quais algumas poderão ser reaproveitadas.

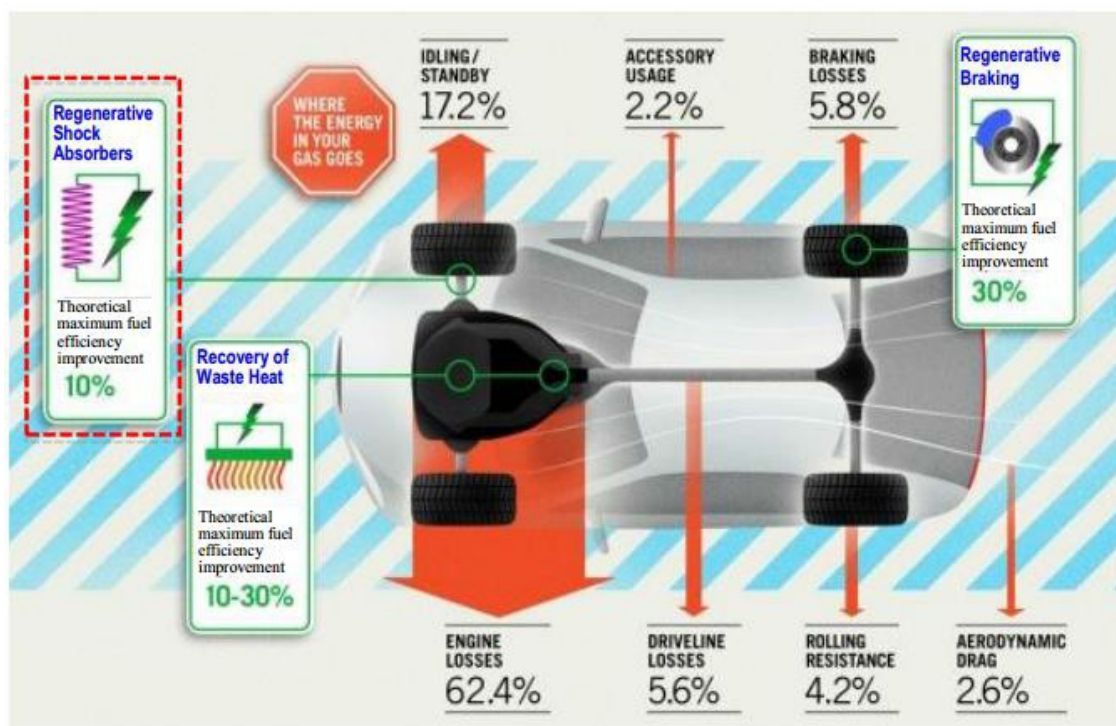


Figura 8: Esquema de dissipação de energia em um veículo (Zhang, 2010)

Neste tipo de veículos, alimentados por motores de combustão interna, sistemas auxiliares como o sistema elétrico, sistema de ar-condicionado, sistema de refrigeração do motor e sistema de direção assistida, representam uma parte de processos que poderiam ser acionados não pela cambota do motor através de uma transmissão por correia, mas sim por sistemas auxiliares de recuperação de energia e conversão em energia elétrica, o que resultaria numa diminuição do seu consumo energético.

Na Figura 9 são apresentadas as diferentes fontes de energia que podem ser captadas num veículo terrestre, utilizando para tal, sistemas de *energy harvesting*, divididas em fontes de energia macro e micro, de acordo com a classificação de Duarte e Ferreira (2015).

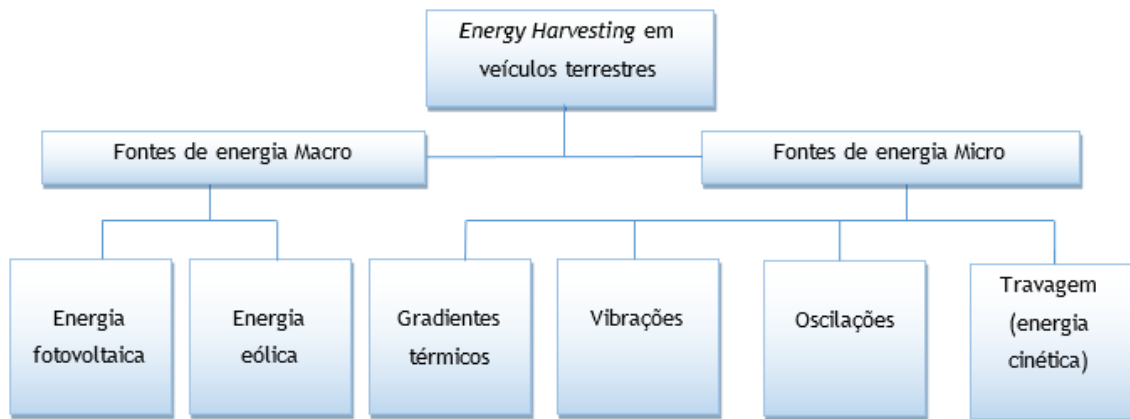


Figura 9: Diferentes fontes de *energy harvesting* para aplicação em veículos terrestres

No seguimento de um extenso trabalho de pesquisa, apresentam-se de seguida as diversas tecnologias que permitem a recolha de energia num veículo, bem como uma descrição detalhada dos princípios de funcionamento de cada tecnologia, a sua maturidade e escala, e ainda todas as barreiras e oportunidades técnicas e comerciais de cada uma. Em alguns casos serão apresentados cenários e testes realizados em cada tecnologia, a partir dos quais é possível obter indicadores do seu potencial futuro.

2.2. Energia Fotovoltaica

A energia proveniente do sol é responsável por fornecer anualmente para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (Viana, 2011), sendo esta um dos principais sustentos da vida na Terra.

A generalidade dos veículos está exposto à radiação solar, a qual não é aproveitada pelos mesmos para nenhuma finalidade. Em 1982, investigadores Alemães desenvolveram o primeiro veículo movido a energia solar (Harrop, 2009). Podia ter sido um impulso para os grandes fabricantes apostarem nesse ramo, mas devido a vários fatores, principalmente ao alto custo das células fotovoltaicas, este projeto não teve continuidade. No entanto, na última década o preço das células solares diminuiu consideravelmente, existindo ainda perspectivas para uma maior diminuição devido a uma grande aposta por parte do mercado Chinês (Giannouli e Yianoulis, 2012). Esta variação do custo de produção de células fotovoltaicas pode criar uma oportunidade para a sua utilização em diversas áreas, uma das

quais a promoção da mobilidade elétrica, de forma direta, nos próprios veículos, ou indireta, para a sua utilização em postos de carregamento de veículos elétricos.

Uma das grandes vantagens deste tipo de recuperação de energia reside no facto de funcionar continuamente, mesmo quando o veículo se encontra em repouso. Como na maior parte do dia o veículo se encontra parado, este sistema pode-se tornar altamente rentável pois poderá manter a bateria sempre em modo de carregamento, evitando uma descarga automática (Giannouli e Yianoulis, 2012).

No entanto, devido à não-linearidade dos painéis fotovoltaicos, e à sua dependência da radiação solar, da temperatura ambiente e da eficiência de conversão, é necessário recorrer a um circuito de condicionamento de potência adequado, e a um controlo MPPT (Maximum Power Point Tracking) com a função de otimizar a correspondência entre os painéis solares e o sistema de baterias (Xiaodong e Chau, 2011).

Uma característica que afeta negativamente a eficiência dos painéis fotovoltaicos é o aquecimento excessivo a que estão sujeitos. Uma célula com eficiência energética entre 15% a 25% sujeita a uma radiação com coeficiente de remoção de calor de $10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, aumentaria a sua temperatura para 70-80K, perdendo assim 30% aproximadamente da sua eficiência. Uma forma de arrefecimento suficiente dos painéis será por convecção forçada através da resistência do veículo com o ar, mas este caso só aconteceria com o veículo em movimento. Outra maneira seria através de um fluxo de água através de microcanais, mas a quantidade de água necessária para o efeito teria o peso do próprio carro, tornando-a assim inviável (Vinnichenko *et al.*, 2014).

Estes fatores levaram a que vários investigadores repensassem novas maneiras de melhorar a eficiência dos painéis através do seu arrefecimento. Alguns investigadores concluíram que a introdução de uma parte fria de geradores termoelétricos (TEGs) na parte traseira do painel ajudaria ao seu arrefecimento, aumentando a sua eficiência. Os autores Xiaodong e Chau (2011) aplicaram um sistema fotovoltaico-termoelétrico e demonstraram que quando a radiação solar é 778 W/m^2 e a temperatura ambiente a 32°C , a eficiência de conversão terá um aumento de 5,2% em relação ao painel fotovoltaico único.

Um dos automóveis híbridos mais comercializados foi o Toyota Prius PHV. Este veículo fornece a possibilidade de aplicação de um painel solar no tejadilho de 50W (*Solar Powered Ventilation System*), que tem como função alimentar um sistema de ventilação com intuito de refrigerar o carro sem ajuda do motor, aumentando assim a sua eficiência. Este sistema possui um termostato previamente programado que, quando a sua temperatura limite dentro do habitáculo é alcançada, aciona um conjunto de ventiladores permitindo assim o seu arrefecimento e proporcionando um melhor conforto e uma redução de energia proveniente da bateria para acionar o sistema de ar condicionado (Xiaodong e Chau, 2011).



Figura 10: Toyota Prius, Solar Powered Ventilation System (Toyota, 2016)

Mais recentemente, já no ano de 2017, a *Panasonic Corporation* desenvolveu um sistema designado por HIT, que, ao contrário do anterior sistema que produzia apenas várias dezenas de watts instalados no Toyota Prius PHV, irá permitir uma produção de cerca de 180 watts com uma eficiência de aproximadamente 19% (krannich, 2017). O que possibilitará o carregamento das baterias da unidade de carregamento e um aumento na autonomia em aproximadamente cinco quilómetros, equivalente a cerca de 1000 km de condução isenta de emissões ao longo de um ano (Panasonic, 2017; Toyota, 2016).



Figura 11: Toyota Prius 2017 (Toyota, 2016)

A empresa *Hanergy*, líder mundial em energia solar, situada na China, lançou em 2016 quatro veículos movidos totalmente a energia solar cobertos, quase na sua totalidade (3,5 - 7 m²), por células solares de película fina de junção dupla de Arsenieto de Gálio (GaAs), que apresentam a taxa de conversão mais elevada do mercado, situada nos 31,6%, esperando ainda assim atingir novo record de 42% em 2025 (Hanergy, 2016).

É possível uma autonomia de cerca de 80 quilómetros com energia totalmente solar se o veículo estiver exposto ao sol durante cinco a seis horas por dia, gerando assim entre 8 a 10 kWh de energia por dia. Esta autonomia em condições normais dará a possibilidade de uma condução citadina sem recorrer a postos de carga como os AEV tradicionais. No caso de dias com menor exposição solar, estes veículos também oferecem a possibilidade de carregar as suas baterias de lítio através de postos de carga, permitindo uma autonomia de 350 quilómetros por carga (Hanergy, 2016).

De seguida, são apresentadas algumas imagens do carro desportivo da marca, *Hanergy*, o modelo Solar R, onde é possível observar toda a distribuição dos painéis solares e sistemas de arrefecimento dos mesmos através das entradas de ar.



Figura 12: Hanergy Solar R (Hanergy, 2016)

Grande impulsionador para o desenvolvimento e introdução desta tecnologia nos veículos, é a prova realizada a cada dois anos na Austrália designada por *World Sollar Challenge*. Neste desafio, o objetivo é mostrar o desenvolvimento de tecnologia automotiva avançada e promover alternativas aos motores de veículos convencionais. Aqui os protótipos utilizam um máximo de seis metros quadrados (a partir de 2007) de painéis solares, testando os limites da eficiência energética e desenvolvendo assim novos conhecimentos para que a tecnologia possa ser aplicada num futuro próximo nos veículos híbridos ou nos de passageiros totalmente elétricos.

Uma das principais referências nesta competição, pertence a uma equipa holandesa designada por *Nuon Solar Team*. Com o seu protótipo *Nuna3*, no ano de 2005, a equipa conseguiu alcançar os 3022 km do desafio no menor tempo até a data alcançado. Este protótipo apresentou um coeficiente de arrasto bastante reduzido (apenas 0.07), em comparação aos valores dos automóveis modernos (0.25 e 0.35), sendo composto por células solares de três camadas de arseniato de gálio (GaAs) com uma eficiência superior a 26 %, que alimentavam baterias de lítio de 5 kWh com uma tensão constante. Já o motor apresentava uma eficiência superior a 97 % que comparativamente a um motor elétrico médio (85 %) é bastante mais elevada (Nuon Solar Team, 2017).

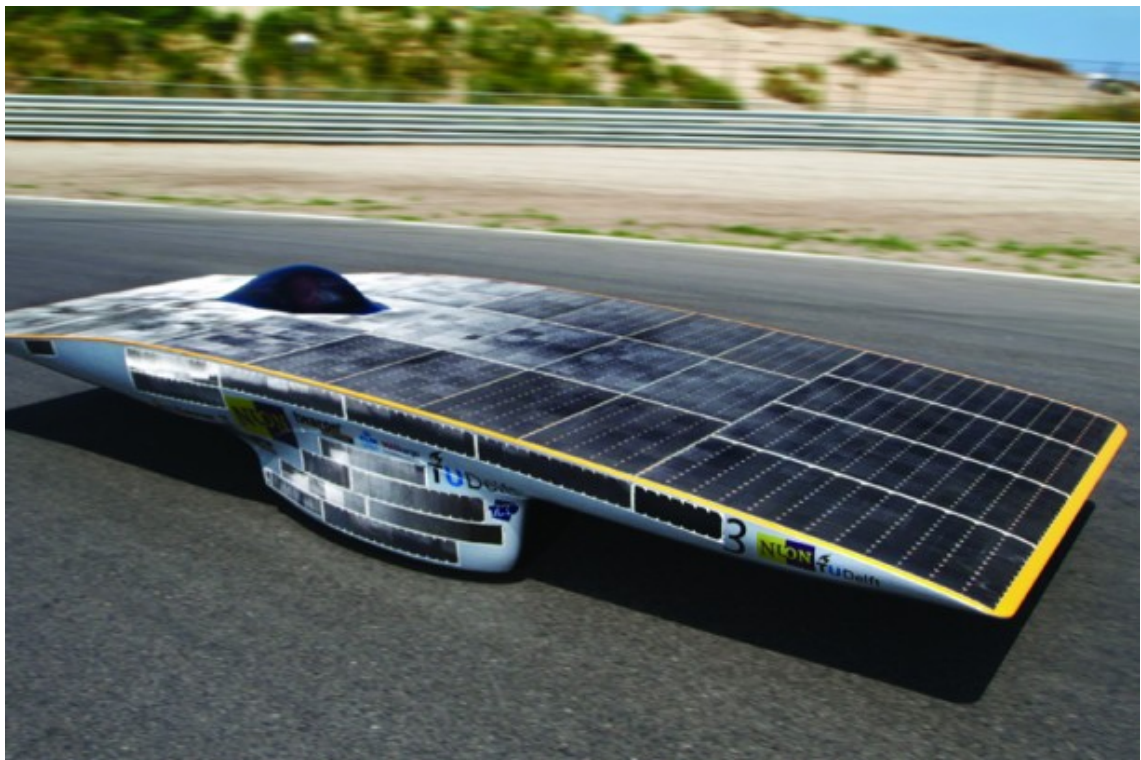


Figura 13: *Nuna3* desenvolvido pela equipa Nuon Solar Team (Nuon Solar Team, 2017)

Devido às velocidades elevadas nesse ano (atingindo aproximadamente 130 km/h) que colocavam em risco a segurança do piloto e veículo, foram aplicadas algumas restrições como a redução em 25 % de painéis solares, podendo agora no máximo atingir 6 metros quadrados. Pelo que, os resultados alcançados foram sendo sempre inferiores a este protótipo. Ainda assim, o mais recente projeto desta equipa, intitulado como *Nuna8*, foi apresentado no ano de 2015, e utilizou um total de 391 células fotovoltaicas de silício monocristalino com uma eficiência de 24 %, conseguindo um tempo final superior ao projeto apresentado dez anos antes (Nuon Solar Team, 2017).

2.3. Gradientes Térmicos (*TEG - Thermoelectric Generator*)

Num veículo com motor de combustão interna, apenas 20 a 45 % da energia contida no combustível é aproveitada para a sua locomoção, sendo que uma grande parte da energia é perdida, quer através de energia térmica, ou gases de escape (40 %), como pela refrigeração (20 %) (Xiaodong *et al.*, 2009).

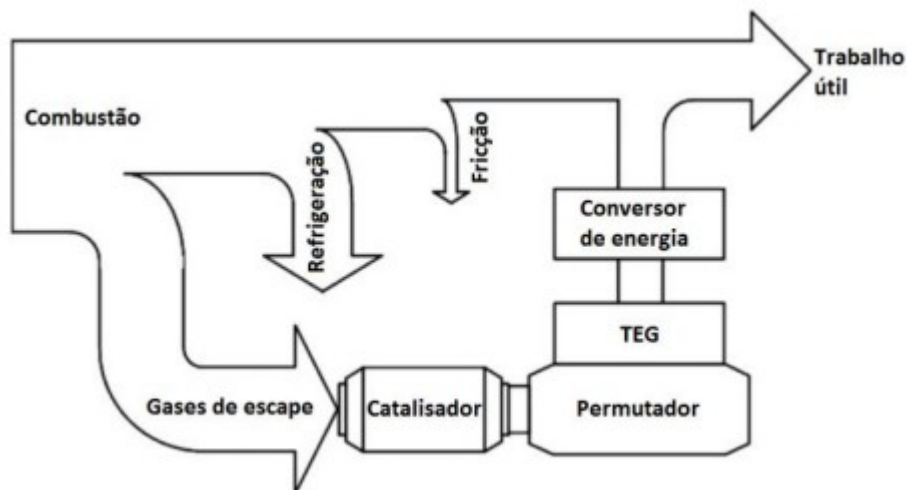


Figura 14: Sistema de recuperação calor residual (Saidur *et al.*, 2012)

Devido à regulamentação imposta no fabrico de novos veículos alimentados por MCI, as principais restrições incidem nas emissões de gases poluentes para o ambiente. Estas emissões são proporcionais ao seu consumo de combustível, sendo o grande desafio, por parte das empresas automóveis, o aumento da eficiência total dos veículos através da recuperação de energia perdida em forma de calor, tanto nos gases de escape, como no líquido refrigerador de um veículo, que poderão atingir valores referentes a 80% da energia contida no combustível dependendo do modo de operação por parte do condutor (Orr *et al.*, 2016).

Sistemas como geradores termoelétricos (TEG) e tubos de calor (HPTEG) estão a ser desenvolvidos com intuito de reduzir o consumo de combustível através da recuperação da energia térmica desperdiçada, transformando-a em eletricidade. Isto irá permitir reduzir a carga sobre o alternador, aumentando assim a sua eficiência. Segundo os autores Xiaodong *et al.* (2009) e Orr *et al.* (2016), ao aplicar geradores termoelétricos (TEG) é possível converter em eletricidade 10% do calor residual dos gases de escape.

Estes geradores termoelétricos (TEG) são compostos por bastantes elementos tipo N e matérias semicondutores de tipo P conectados eletricamente em série que provocam o aumento da tensão de funcionamento, e termicamente em paralelo aumentando a condutividade térmica (Tang *et al.*, 2015). Devido ao efeito de *Seebeck*, ao ser aplicada uma diferença de temperaturas entre as duas superfícies (ΔT), é gerada uma tensão elétrica e, consequentemente, produção de eletricidade (Orr *et al.*, 2016). Como as características de

saída de potência deste tipo de geradores são semelhantes aos painéis solares, ou seja, não lineares que dependem de uma fonte de calor, sistema de arrefecimento e carga externa, é necessário recorrer a um circuito de condicionamento de potência adequado e a um controlo de potência máxima (MPPT) (Xiadong *et al.*, 2009).

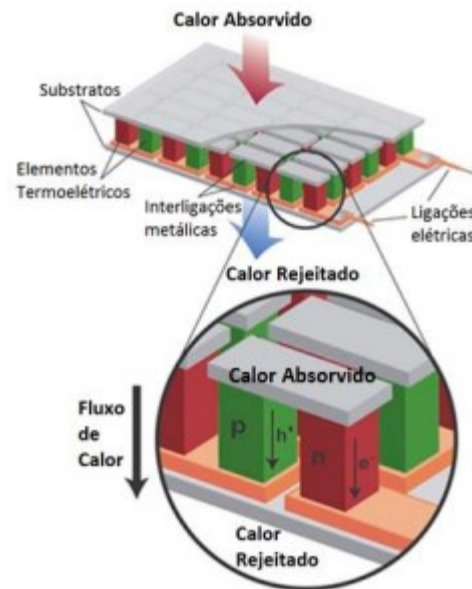


Figura 15: Desenho esquemático de um elemento termoeletrico (Saidur *et al.*, 2012)

Os autores Xiadong *et al.* (2009) caracterizam a figura de mérito ou efetividade do material termoeletrico (ZT), responsável pela medição da eficiência de conversão de energia dos materiais termoeletricos e comparação do desempenho dos diversos TEGs a temperaturas idênticas, sendo que o seu valor será proporcional ao poder de conversão do TEG. Atualmente este parâmetro tem sido caso de estudo por parte dos investigadores com melhorias apresentadas, mas os TEGs disponíveis comercialmente apresentam ainda ZT de aproximadamente 1 (Tie e Tan 2013; Orr *et al.*, 2016).

Este valor expresso adimensionalmente é calculado pela expressão:

$$ZT = \frac{S^2 T}{k \rho} \quad (1)$$

Na equação (1), S corresponde a potência termoeletrica, T a temperatura absoluta, k a condutividade térmica e ρ a resistividade elétrica (Xiadong *et al.*, 2009).

Tabela 1: Vários materiais TEG com respectivo ZT (Tie e Tan 2013).

Temperatura (°C)	Tipo	Material TEG	ZT (máximo)
<150	P	Bi_2Te_3	0.8
	N	Bi_2Te_3	0.8
150-500	P	Zn_4Sb_3	-
	P, N	PbTe	0.7, 0.8
	P	TeAgGeSb (TAGS)	1.2
500-700	P	$\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$	1.1
	N	CoSb_3	0.8
700-900	P, N	SiGe	0.6-1.0
	P	LaTe	1.4

Relativamente aos sistemas de recuperação de calor existentes, embora ainda em fase de protótipo, a aplicação dos mesmos em automóveis, principalmente nos tubos de escape e radiadores, tem sido caso de estudo por parte de alguns investigadores (Hsu *et al.*, 2011).

Empresas como a BMW, Ford, Renault e Honda desenvolveram sistemas de recuperação de gases de escape demonstrando assim interesse neste tipo de tecnologias, embora ainda não tenha sido instalada em automóveis de produção.

Em 1998, Ikoma *et al.* (1998), desenvolveram um módulo termoelétrico baseado em elementos Si-Ge para aplicação num motor a gasolina Nissan. Este módulo consistia em 8 pares de elementos Si-Ge de tipo p e n conectados eletricamente em série, sendo que 72 unidades deste módulo formavam o seu gerador termoelétrico introduzido entre o tubo de escape e um coletor de água ao seu redor. Eles conseguiram produzir 35.6 W com uma eficiência total de geração de energia de apenas 0,1 %, ao aplicar o sistema num motor de 3000cc alimentado por gasolina ao mover-se a 60 km/h numa subida com uma temperatura de escape de aproximadamente 600°C e um ΔT de 123°C aproximado entre o lado frio (T_c) e lado quente (T_h) (Ikoma *et al.* 1998).

A BMW aplicou no modelo 530i de 2006, geradores TEG de alta temperatura usando um permutador de calor de casco e tubo, conseguindo com um sistema composto por uma combinação de elementos segmentados de 20 W de potência, uma potência nominal total de 750 W (LaGrandeur *et al.*, 2006).

A Ford tentou construir um sistema diferente para a passagem dos gases provenientes do escape. Para isso usaram vários pequenos canais paralelos revestidos por módulos termoelétricos por onde os gases passariam. Com este sistema, conseguiu-se uma produção máxima de aproximadamente 300-400 W com uma eficiência de 5,7 % para um veículo híbrido gás-elétrico de 2500cc (Hussain *et al.*, 2009).

A Renault aplicou geradores termoelétricos num motor de um camião diesel. Este sistema utiliza uma disposição de permutador de calor de contra-fluxo usando um arrefecimento líquido a uma temperatura de 90°C, com a instalação de TEGs de alta

temperatura composto por Mg_2Si / Zn_4Sb_3 na extremidade de mais quente, e TEGs de baixa temperatura composto por Bi_2Te_3 na extremidade mais fria (Espinosa *et al.*, 2010).

A Honda, enquanto um dos fabricantes mais inovadores a nível mundial ao longo dos anos, também desenvolveu sistemas compostos por geradores termoelétricos e publicou alguns casos de estudo. Com um projeto simples de uma caixa retangular plana com 32 módulos TEGs de 30 x 30mm incorporados nas suas superfícies superiores e inferiores, como é ilustrado na figura 16, foi obtida uma potência máxima ao nível da operação por parte do motor de aproximadamente 500 W e de aproximadamente 200 W quando o nível de operação é reduzido, refletindo-se em 3 % na redução de combustível. Concluiu-se assim que a diferença de temperatura entre o lado frio e quente influencia bastante o gerenciamento de potência por parte dos módulos, o que levou a que estes investigadores otimizassem os seus resultados através da aplicação de isolamento no escape originando uma maior entrada de calor no TEG (Mori *et al.*, 2011).

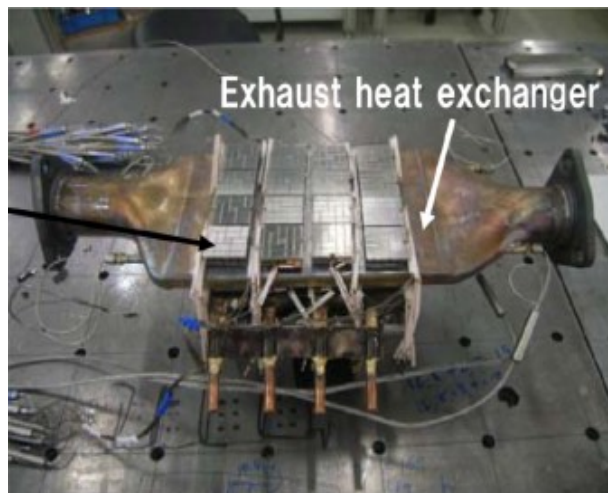


Figura 16: Montagem dos 32 módulos termoelétricos no tubo de escape (Mori *et al.*, 2011)

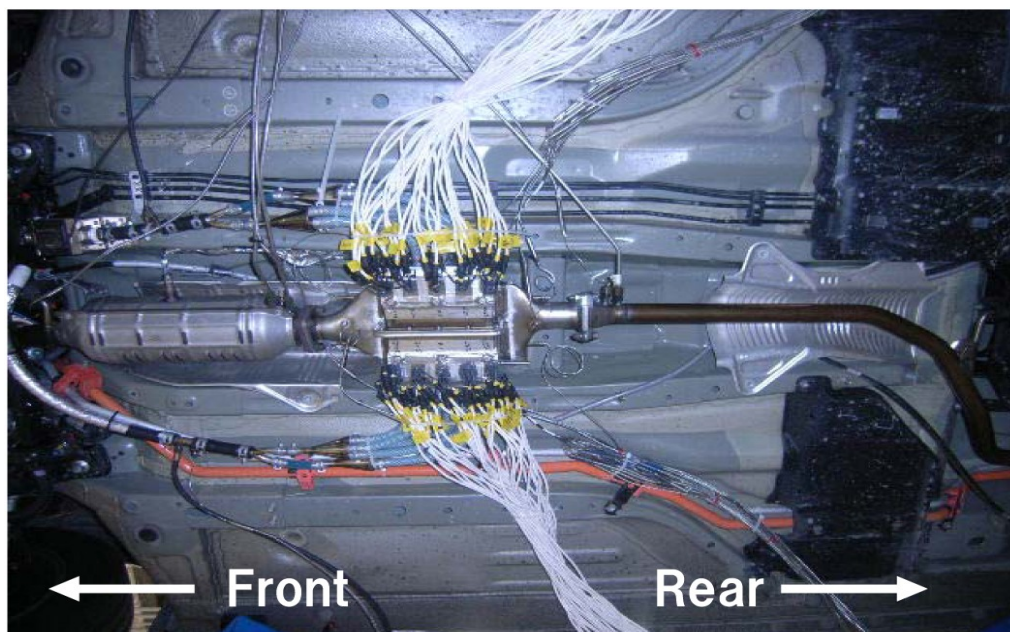


Figura 17: instalação do protótipo TEG do fabricante Honda (Mori *et al.*, 2011)

Os autores Kim *et al.* (2011) desenvolveram um sistema baseado em tubos de calor (HPTEG) e módulos termoelétricos para a recuperação da energia térmica contida nos gases de escape, como demonstrado na figura 18. Neste sistema, os gases de escape fluem através de tubos de calor que sobressaem no tubo principal de escape, absorvendo assim parte do calor e, conseqüentemente, aquecendo a superfície do bloco de alumínio onde o lado quente dos TEGs é inserido, enquanto que o calor rejeitado pelos TEGs é removido por um dissipador de calor arrefecido a água colocado no lado oposto aos TEGs. Com um total de 112 módulos termoelétricos de 40 x 40mm foi possível gerar uma potência máxima de 350 W.

2.4. Suspensão regenerativa

Quando um veículo se desloca sob o pavimento rodoviário, as irregularidades do pavimento são absorvidas pelo acionamento de um conjunto mola-amortecedor, denominado por suspensão, com o objetivo de suportar o veículo isolando o chassis das oscilações induzidas pelo pavimento, protegendo os ocupantes do veículo do desconforto das mesmas, oferecendo assim uma melhor qualidade de condução e manuseio por parte do condutor. O amortecedor tem como princípio de funcionamento dissipar a energia mecânica induzida pelas oscilações em energia térmica, a qual por sua vez é dissipada para o ambiente. Considera-se assim que esta energia está a ser perdida, podendo esta, ou parte dela, ser transformada e armazenada em energia elétrica para uma posterior utilização, permitindo reduzir o consumo de combustível do veículo e tornar o mesmo mais sustentável.

Muitos investigadores têm direcionado as suas pesquisas para a recuperação desta energia transformando as suspensões convencionais em regenerativas, primeiramente com o objetivo de tornar esta uma fonte de energia auxiliar para o controlo da suspensão ativa, e posteriormente como dispositivos de regeneração e armazenamento de energia para outras utilizações (Xie e Wang, 2015).

Segundo uma pesquisa efetuada em 1982 pelos investigadores Segel e Lu (Zuo e Zhang, 2013), demonstrou-se que a potência total de quatro amortecedores de um veículo, a uma velocidade de 13,4m/s, era cerca de 200 W. Sendo que um veículo consome cerca de 250-350 W de eletricidade com todos os sistemas opcionais desligados, e que esta energia é requerida ao alternador que tem capacidade de potência típica de 500-600 W, o uso desta tecnologia permitirá realizar menos esforço por parte do alternador e um aumento da eficiência de combustível entre 2,4 % a 9 % (Zuo e Tang, 2013).

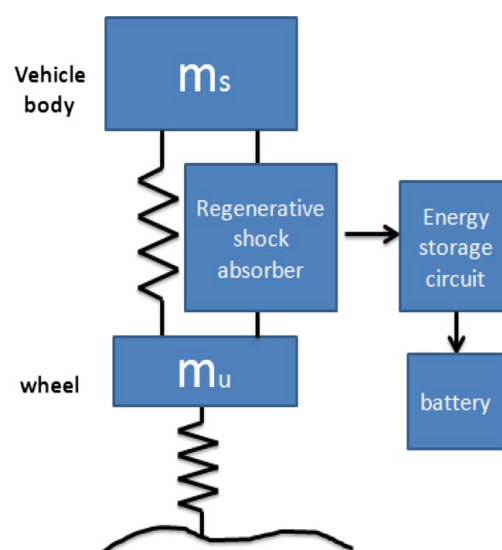


Figura 19: Esquema genérico de suspensão regenerativa (Zhongjie *et al.*, 2013)

Este tipo de suspensão regenerativa apresenta duas configurações: mecânica, ou eletromagnética, as quais são apresentadas de seguida.

2.4.1. Suspensão regenerativa mecânica

Neste tipo de suspensão, a energia mecânica proveniente das oscilações e vibrações é convertida em energia hidráulica ou pneumática por via mecânica e, posteriormente, transformada em energia elétrica armazenada em acumuladores.

Este tipo de suspensões utiliza óleo ou ar como fluido de trabalho, mas devido ao seu complexo sistema e à presença de tubos por onde passa o fluido, os quais podem romper levando à desativação do sistema, bem como à necessidade de troca do fluido por outro renovado, foi diminuindo o interesse por parte dos fabricantes automóveis em apostar no desenvolvimento desta tecnologia (Zhang *et al.*, 2013).

Em 1993, Fodor e Redfield (1993) efetuaram pesquisas neste tipo de suspensão mecânica-hidráulica, propondo um mecanismo de transmissão variável (VLT) para a regeneração da energia cinética na suspensão. O sistema era constituído por um pistão que forçava o fluido a passar através de um acumulador hidropneumático onde o amortecedor regenerativo exercia pressão e a consequente conversão da força de entrada em força de amortecimento desejada. Contudo, a razão entre a energia total amortecida no sistema e a quantidade de energia armazenada revelou ser o principal problema no desenvolvimento e viabilidade do projeto.

2.4.2. Suspensão regenerativa eletromagnética

Nestes sistemas a energia cinética absorvida é convertida em energia elétrica armazenada nas baterias para uma posterior utilização nos sistemas elétricos do veículo sendo esta mais direcionada para veículos híbridos ou totalmente elétricos, apresentando um alto desempenho, maior eficiência, menos espaço ocupado e uma simplificação de processos relativamente ao sistema anterior.

Neste tipo de suspensão eletromagnética, vários autores têm apresentado diferentes configurações.

➤ Suspensão eletromagnética de condução direta/linear

Nesta configuração a principal alteração é a substituição do amortecedor tradicional por um motor linear de ímanes permanentes em forma de anel e espaçadores de alto magnetismo permeáveis, também em forma de anel, empilhados numa haste de material de

alta relutância. Os ímãs são então dispostos com polos semelhantes de ímãs adjacentes virados um para o outro para redirecionar o fluxo magnético na direção radial. Este sistema é capaz de absorver a energia cinética resultante do movimento entre o chassi e a roda em energia elétrica, não necessitando assim de mecanismos de transmissão (Zhang *et al.*, 2013; Zuo *et al.*, 2010).

Nesta configuração, o sistema é aplicado em paralelo com a mola, o que torna assim o amortecedor passivo. Na figura 20 é possível observar a substituição de um amortecedor a óleo por um eletromagnético com introdução de uma carga resistiva externa (R_e) e uma bobina de indutância desprezável (L) (Zuo e Zhang, 2013).

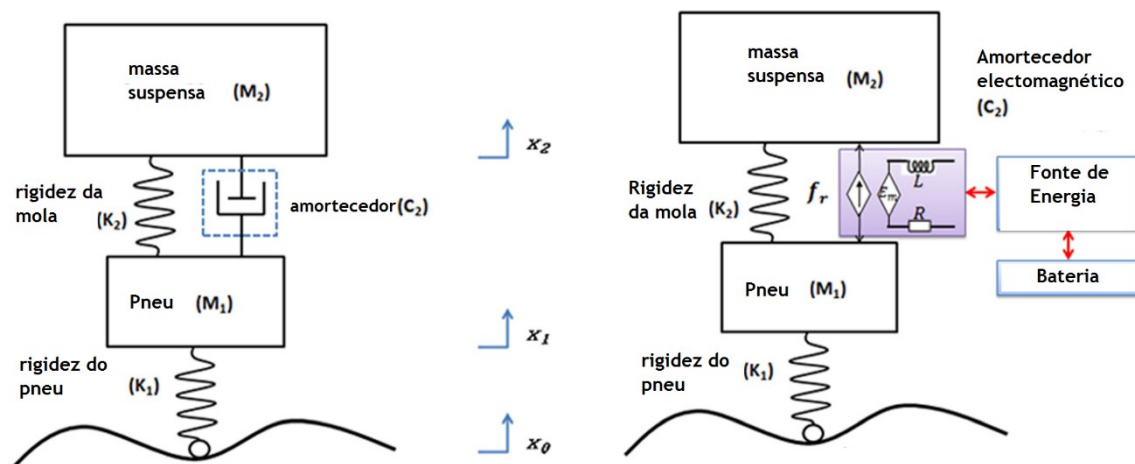


Figura 20: Comparação de suspensão convencional (esquerda) e suspensão regenerativa eletromagnética (direita) (Zuo e Zhang, 2013).

No sistema apresentado por Zuo e Zhang (2013) foram realizados alguns testes em estrada com um veículo e conseguiu-se estimar a produção de uma potência de 60W quando conduzido a 40km/h numa estrada com rugosidade elevada.

No sistema apresentado por Gysen *et al.* (2011) utilizou-se o motor eletromagnético da movimentação direta para melhoria no desempenho da suspensão aplicado no modelo BMW530i. Por razões de segurança foi necessário utilizar um amortecimento passivo que influenciou a eficiência, tendo mesmo assim sido possível gerar até 235 W numa estrada com rugosidade elevada, e até 65 W numa estrada suave.

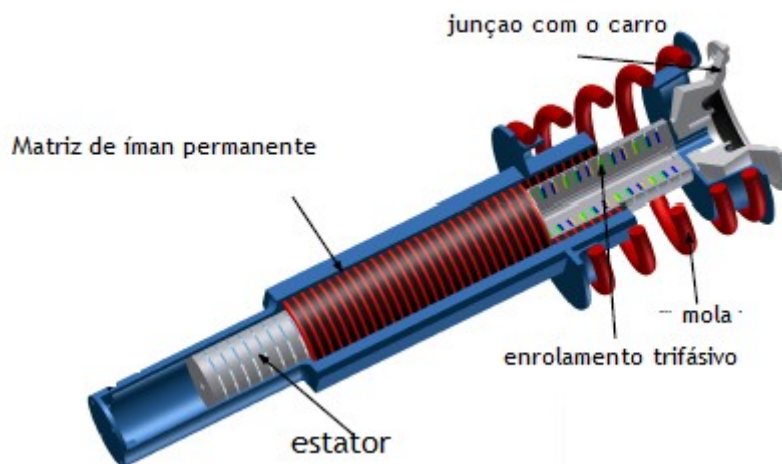


Figura 21: Suspensão eletromagnética ativa aplicada por Gysen *et al.* (2011)

➤ Suspensão eletromagnética de parafuso de esfera

Este sistema é caracterizado como sendo um dispositivo de transmissão comum capaz de converter o movimento linear em rotação. Este atuador eletromecânico consiste num motor de corrente contínua e o respetivo mecanismo de parafuso de esfera. Funcionando em modo passivo é possível controlar a força de amortecimento eletricamente através da regulação da corrente induzida (Kawamoto *et al.*, 2008).

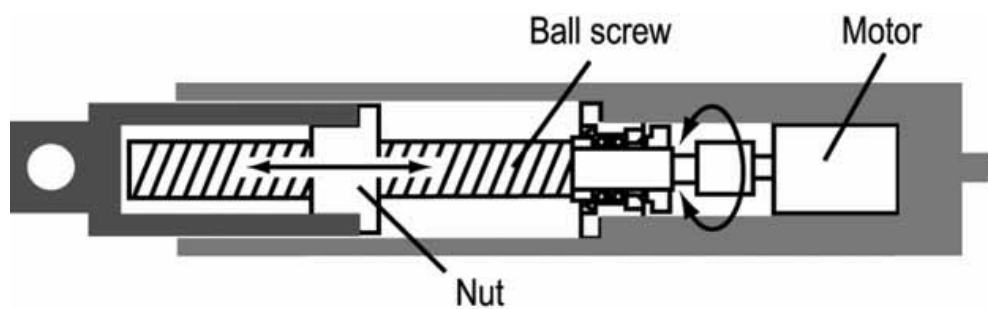


Figura 22: Suspensão eletromagnética de parafuso de esfera (Kawamoto *et al.*, 2008).

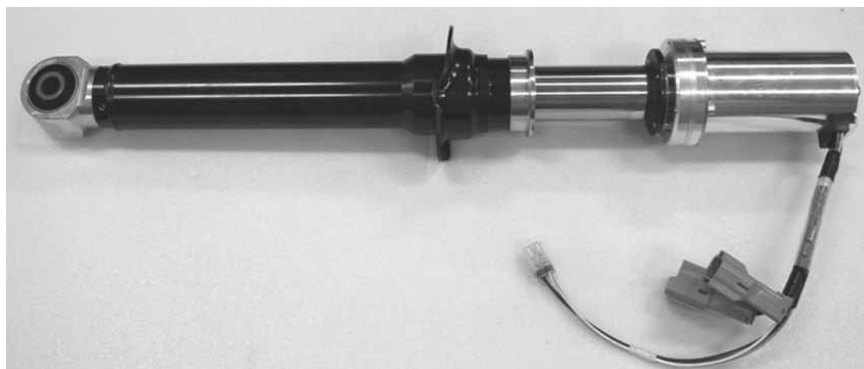


Figura 23: Suspensão eletromagnética de parafuso de esfera aplicada a veículo (Kawamoto *et al.*, 2008).

De acordo com a literatura (Zhang *et al.*, 2013), vários investigadores utilizaram este sistema para captar energia proveniente das oscilações e vibrações, sendo possível ajustar também a força de amortecimento alterando a resistência de shunt.

➤ Suspensão eletromagnética Pinhão-Cremalheira

Nesta configuração o movimento linear é convertido num movimento rotacional através de uma cremalheira, a qual se encontra ligada à extremidade do cilindro externo, acionando a engrenagem do pinhão quando existir um movimento relativo entre as extremidades do amortecedor. Como o sistema converte a vibração nos dois sentidos, foi necessário desenvolver um sistema de retificador de movimento, designado por MMR, convertendo assim a rotação bidirecional em rotação unidirecional através das engrenagens cônicas e duas embraiagens de rolos unidirecionais. Seguidamente essa rotação será ampliada através das engrenagens cônicas e uma caixa de engrenagens planetárias com intuito de aumentar a força ativa, sendo transmitida a um motor DC usado como gerador (Zhongjie *et al.*, 2013; Peng *et al.*, 2014).

Os autores Peng *et al.*, (2014) estudaram este tipo de suspensão e concluíram que o sistema MMR atinge uma eficiência superior a 60 % em testes de laboratório, em comparação a sistemas que não apliquem MMR. Através desta investigação foi possível obter uma potência média de 25,6 W e 40,4 W com cargas de 100 e 30 Ω , respetivamente. Foi ainda obtida uma potência de pico de 62,9 W e 104,3 W. Este sistema, aplicado num veículo Chevy Suburban de 2002, apresentou uma potência produzida total com os quatro amortecedores de 19.2 W, utilizando uma resistência externa de 30 Ω e circulando a uma velocidade média de 50 km/h, sendo a sua potência de pico, nas mesmas condições, de 67,5 W.



Figura 24: Desenho de suspensão com sistema pinhão-cremalheira (Peng *et al.*, 2014)

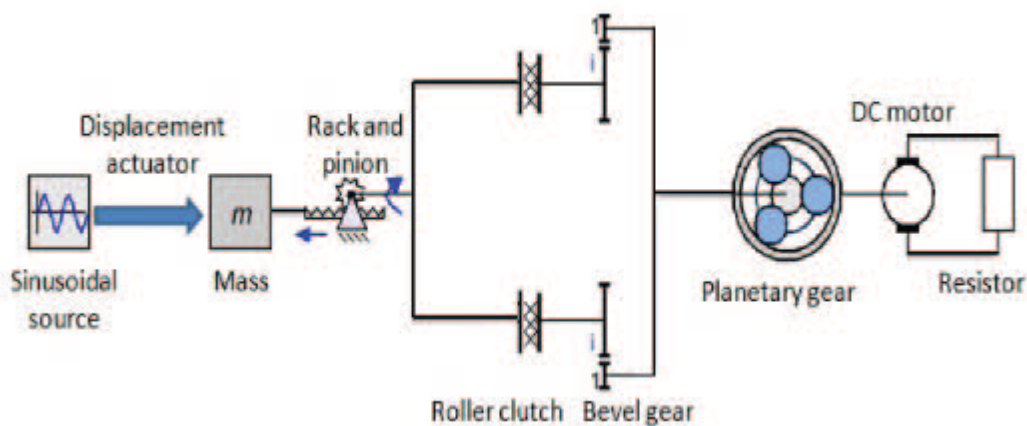


Figura 25: Esquema suspensão pinhão-cremalheira com sistema MMR (Peng *et al.*, 2014)

➤ Suspensão eletromagnética de transmissão hidráulica

Este tipo de sistema é o mais idêntico ao amortecedor hidráulico convencional. A empresa *Levant Power Corp.*, fundada por estudantes do MIT em 2009, desenvolveu um sistema de suspensão chamado *GenShock* para futuras aplicações nos transportes rodoviários e ferroviários onde a principal diferença recai no funcionamento do mesmo. Ao invés de usar pequenos orifícios para criar fricção viscosa e amortecer as molas, este tipo de amortecedores encaminham o fluido através de motores hidráulicos assim amortecendo as molas quando o fluido experimenta resistência à medida que atua no motor. Esta suspensão regenerativa é capaz de melhorar em 10% a eficiência do consumo de combustível, sendo que quando o seu fluido hidráulico atravessa um motor hidráulico produz energia cinética rotacional ligado a um gerador que por sua vez irá produzir eletricidade. Esta energia será aproveitada para carregar a bateria do veículo, podendo também alimentar um *loop* de *feedback* para controlar dinamicamente o amortecimento baseado no terreno, proporcionando assim um maior conforto. Este sistema oferece ainda a vantagem ao utilizador de poder levantar uma roda individualmente, para permitir que os condutores troquem um pneu sem que seja necessário recorrer a nenhum acessório extra como o caso de um macaco (Green Car Congress, 2009; Stanford, 2011).

Estes investigadores verificaram experimentalmente que, para um veículo pesado, é possível armazenar aproximadamente 2000 J de energia no conjunto de quatro amortecedores, com um deslocamento de 9 cm por amortecedor, e gerar uma potência média de 1.34 kW numa hora (Stanford, 2011; Avadhany, 2009). Este tipo de suspensão regenerativa foi testado num veículo pesado militar designado por *Humvee* tendo demonstrado que cada amortecedor pode produzir 500 a 1000 watt de energia quando sujeitos a uma estrada padrão, ou seja, em que a sua rugosidade seja média, reduzindo o esforço feito pelo alternador e melhorando entre 3 a 5 % o consumo de combustível.

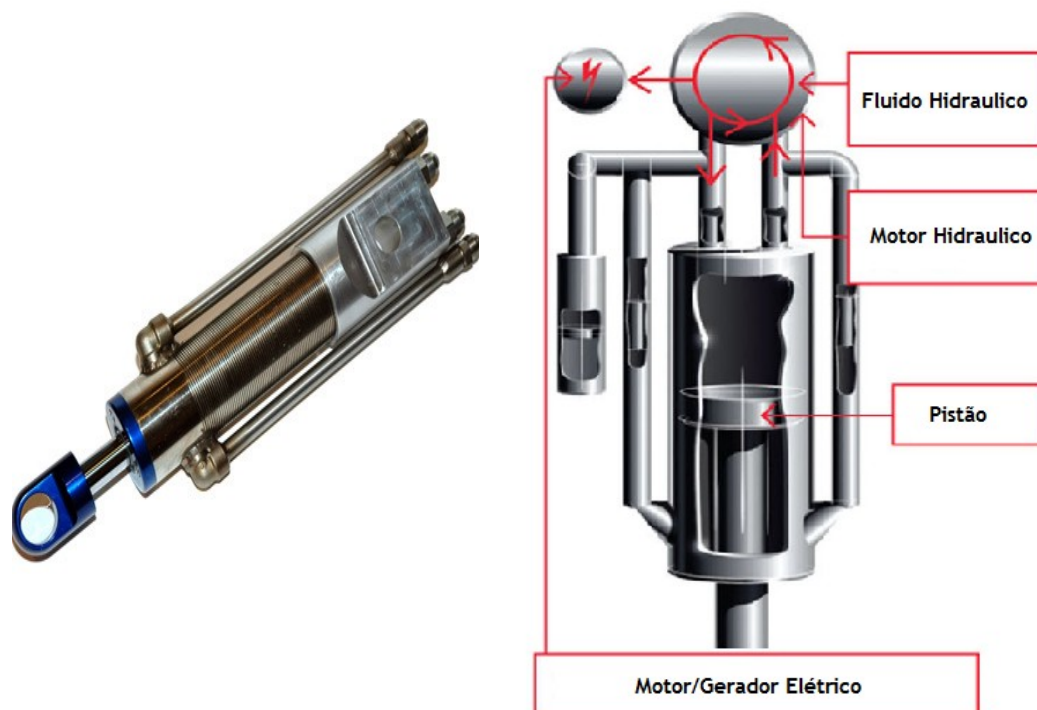


Figura 26: Protótipo do sistema GenShock (Zuo e Zhang, 2013; Stanford, 2010)

Já o conceituado fabricante alemão Audi, apresentou um sistema de suspensão regenerativa denominado por eROT, onde a principal diferença recai sobre a substituição total de um conjunto de amortecedor hidráulico posicionado verticalmente por um sistema de braço de alavanca que manipula os movimentos da roda causados pelas irregularidades do terreno, e um motor elétrico orientado horizontalmente configurado como dínamo que será acionado a partir de várias engrenagens.



Figura 27: Sistema eROT apresentado pelo fabricante Audi (Audi, 2016)

Esta tecnologia inovadora explora um sistema elétrico secundário de 48 volts que fornece energia a uma bateria de íons de lítio com capacidade de 0,5 kWh a 48 volts, operando em conjunto com o sistema primário de 12 volts, necessitando assim da introdução de um conversor DC para a conexão entre eles. Vários testes realizados pelo fabricante demonstraram que este sistema é capaz de recuperar em média 100 a 150 watt numa estrada com rugosidade reduzida, e cerca de 613 watt numa estrada secundária onde a rugosidade é mais acentuada, reduzindo assim as emissões poluentes em cerca de 3 g/km. Estima-se que este sistema possa minorar o consumo de combustível em 0,7 litros por 100 km, estando prevista a sua implementação em veículos híbridos da marca alimentados por um sistema elétrico de 48 volts já a partir do ano corrente, não necessitando assim de recorrer ao conversor DC (Audi, 2016).

A empresa Intertronic Gresser GmbH (Intertronic, 2016) desenvolveu um sistema de suspensão regenerativa onde prescinde de todos os componentes convencionais, como o caso das molas de aço, utilizados pelos diversos investigadores e empresas. Este sistema de suspensão oferece um controlo ativo do amortecedor adaptando um gerador linear e aplicando um controlo regulativo sobre o mesmo, sendo a função de suporte e suspensão sustentada através de um cilindro hidráulico de dupla ação controlado eletronicamente. Por sua vez, a função de amortecimento da vibração é realizada mecanicamente e controlada eletronicamente, efetuando-se a produção de energia através das forças de contra indução.

De acordo com a empresa, este sistema já patenteado (USA Patente nº US 8,874,291 B2, 2014), apresenta rendimentos muito variáveis de acordo com o peso do veículo e a rugosidade do terreno, não disponibilizando assim valores corretos sobre o seu gerenciamento

de energia, embora estimem que para um veículo ligeiro com um peso médio de 1600 kg possa fornecer entre 1-17 kWh por cada 100 km percorridos (Intertronic, 2016).

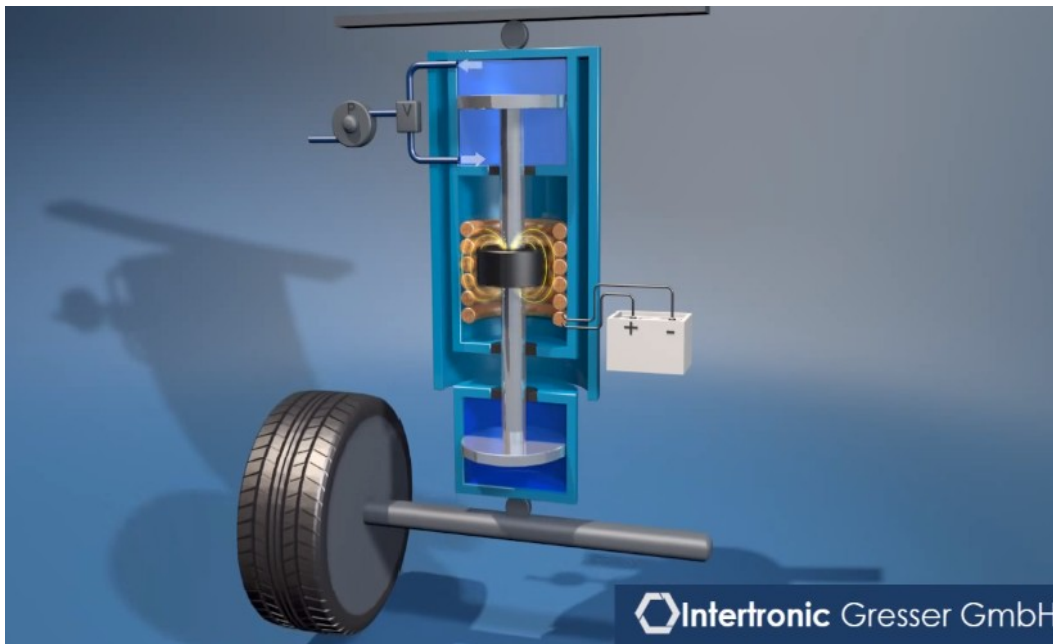


Figura 28: Protótipo suspensão regenerativa Intertronic Gresser GmbH (Intertronic, 2016)

2.5. Travagem Regenerativa

Como verificado na figura 8, uma das principais causas das perdas energéticas de um veículo consiste no processo de travagem. Cerca de 30% (Zhang, 2010) da energia utilizada por um veículo é transformada em energia térmica, em processos de travagem, a qual é desperdiçada para o ambiente. Segundo os autores Ehsani *et al.* (2005), um veículo de 1500kg a circular a uma velocidade de 100km/h, para realizar uma travagem que permita levar o carro ao repouso irá libertar cerca de 0.16kW em algumas dezenas de metros, a qual ao ser reaproveitada pode permitir que o veículo percorra até cerca de 2km sem recorrer a outra fonte de energia.

Uma das principais formas de regeneração de energia que tem vindo a ser desenvolvida e implementada por vários fabricantes automóveis, resulta do aproveitamento da energia desperdiçada na travagem, quer sob a forma de energia mecânica utilizada nos sistemas KERS, quer pela sua utilização após conversão em energia elétrica utilizado nos veículos híbridos-elétricos.

Estes sistemas, por definição, consistem em dispositivos que recolhem a energia cinética decorrente do processo de travagem, a qual normalmente seria desperdiçada sob a forma de calor, permitindo assim transformá-la em energia potencial, podendo esta ser

utilizada no arranque seguinte ou ser convertida em energia elétrica para utilização de acessórios que requerem energia elétrica sem recorrer ao alternador do motor.

Antes destes sistemas serem implementados é necessário ter em consideração a sua distribuição para manter um equilíbrio das forças necessárias entre o travão regenerativo e mecânico de modo a potenciar a sua eficiência e manter uma estabilidade direcional do veículo. Num processo de travagem, ou simplesmente numa desaceleração, o peso irá direcionar-se para o eixo dianteiro do veículo acrescentado assim a sua força normal. Para que ocorra sempre um equilíbrio direcional num veículo de tração dianteira é necessário que o coeficiente de fricção no eixo dianteiro não exceda o coeficiente referente ao eixo traseiro. Caso a tração seja traseira ou tenha o sistema ligado ao eixo traseiro, o binário compensável terá de diminuir consoante a travagem ou aumento da desaceleração (Ehsani *et al.*, 2005; Reif, 2014).

Em veículos híbridos ou puramente elétricos, a energia recolhida através de sistemas de travagem regenerativa poderá ser armazenada em baterias ou conjunto de ultra condensadores para uso posterior, armazenada através de ar comprimido e através de sistemas de recuperação de energia cinética (KERS), com rodas de inercia mais conhecidas por *flywheel* (UBC, 2010).

2.5.1. Sistemas de armazenamento de energia elétrica

Neste tipo de sistemas a travagem regenerativa tira partido de um motor elétrico que atua como gerador diretamente ligado nas rodas. Este sistema oferece uma resistência ao movimento do veículo atuando assim como travão e possibilita a transformação da energia cinética captada em energia elétrica, a qual será armazenada em baterias ou ultra condensadores. Segundo um artigo divulgado no *website* da University of British Columbia, este sistema apresenta uma eficiência de cerca de 50%.

Embora estes sistemas se direcionem mais para veículos híbridos ou puramente elétricos devido ao seu maior uso de sistemas elétricos e à produção de uma potência elétrica de cerca de 15-60 kW (Tie e Tan, 2013), muitos construtores têm vindo a aplicar estes sistemas em veículos alimentados por motores de combustão interna.

A Mazda desenvolveu um sistema de travagem regenerativa designada por i-ELOOP (Intelligent Energy Loop) com o objetivo de recuperar energia num curto espaço de tempo após o condutor desacelerar ou acionar o travão. Para isso utilizou um alternador de tensão variável que varia a tensão de saída entre 12V e 25V e, com auxílio de um conversor DC-DC, permite um fornecimento contínuo a 12V para o sistema de armazenamento constituído por condensadores de dupla camada elétrica de alta capacidade (EDLC), que ao contrário das baterias permite uma carga/descarga com grandes quantidades de energia em curtos espaços de tempo, sendo o carvão ativado o seu componente principal (Mazda, 2017).

Na prática quando o condutor retira pé do acelerador, o modo regenerativo começa a atuar e o alternador usa a energia cinética da desaceleração para produzir eletricidade com a

máxima tensão possível. Quando esta eletricidade "livre" passa pelo conversor DC-DC e, se houver energia elétrica disponível além da carga elétrica do carro, ele vai carregar a bateria 12V. Este sistema permite assim uma redução no fornecimento de energia por parte do alternador convencional do veículo contribuindo para uma melhoria na eficiência de combustível na ordem dos 10% (Tie e Tan, 2013; Mazda, 2017). Segundo Paul Weissler (SAE, 2013) o conversor DC-DC apresenta uma geração máxima, no ponto de rendimento máximo, de 50A e 14,5V, com uma capacidade máxima utilizada de 25.000 J, a qual permitirá satisfazer a necessidade energética em condições normais relativa aos faróis e outra iluminação exterior, bem como todo o sistema de climatização, limpa para-brisas e o sistema de áudio, que representam cerca de 40A. Para dias mais frios este sistema está dimensionado para garantir, logo após o início da marcha do veículo, o aquecimento da janela traseira e possivelmente os aquecedores de assento opcionais.

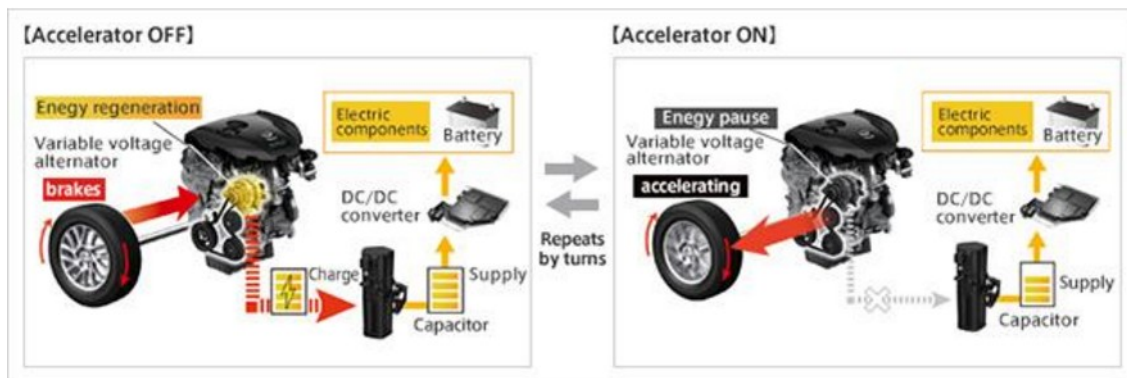


Figura 29: Sistema de travagem regenerativa i-ELOOP da Mazda (Mazda, 2017)

2.5.2. Sistemas de armazenamento de energia hidráulica

Este tipo de sistemas permite armazenar energia potencial através do acionamento de um fluido hidráulico na compressão de um fluido de trabalho, geralmente nitrogénio, carregado dentro de um acumulador hidráulico. São compostos por um acumulador, reservatório de óleo e um deslocamento variável bomba/motor. Durante a travagem a energia cinética faz com que o reservatório atue como uma bomba, transferindo o fluido hidráulico para o acumulador, comprimindo assim o nitrogénio e pressurizando o sistema. Quando o acelerador é acionado, o nitrogénio acumulado a alta pressão irá fazer com que o reservatório atue como um motor, transmitindo binário ao eixo de transmissão, movendo o veículo. Este tipo de sistemas permite assim recuperar e devolver cerca de 70% de energia que normalmente é perdida na travagem (UBC, 2010; Clegg, 1996).

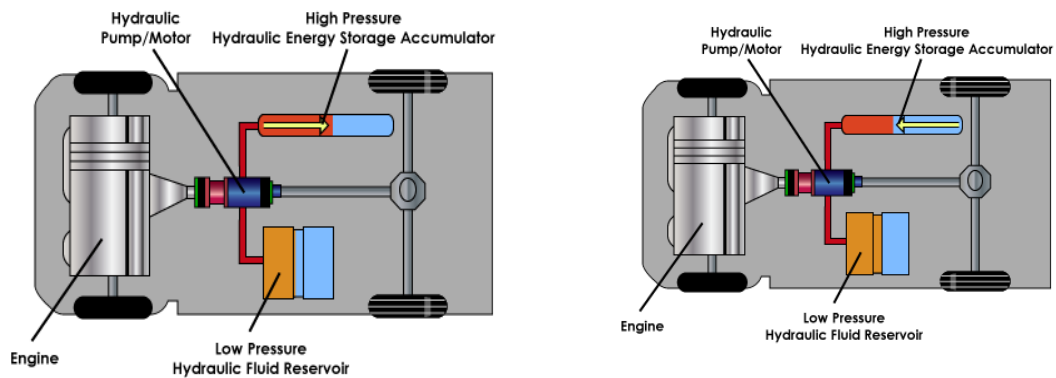


Figura 30: Fases de um sistema de travagem de armazenamento de energia hidráulica (Valente e Ferreira, 2009)

Um sistema deste tipo foi apresentado pela empresa EATON intitulado como *The Hydraulic Launch Assist™* (HLA). Este sistema aplicado a um veículo híbrido série em condições de “para-arranca” no trânsito permite desligar o motor e usar apenas a energia acumulada no sistema hidráulico. Pode ainda operar em dois modos, sendo um modo económico que dá prioridade à economia de combustível em relação à aceleração, e um modo de desempenho que dá prioridade à aceleração reduzindo assim a economia do combustível. Este sistema foi testado num camião da empresa UPS e demonstrou uma economia de combustível em condições urbanas de 50-70%, levando a uma redução de emissões poluentes em cerca de 40% comparativamente a outro camião igual operando sem o sistema. Embora apresente valores aliciantes, esta tecnologia ainda só é usada em protótipos, pois alguns problemas com fugas e ruído, bem como a impossibilidade de alimentar sistemas elétricos com o veículo desligado, levam à necessidade de desenvolvimentos adicionais que permitam que os principais fabricantes automóveis possam implementar este sistema (Valente e Ferreira, 2009).

2.5.3. Sistemas de Recuperação de Energia Cinética (KERS)

Um dos sistemas mais utilizados em sistemas de travagem regenerativa e introduzido em veículos Formula 1 é conhecido como volante, roda de inércia ou, na literatura inglesa, “flywheel”.

Neste sistema a energia cinética libertada pelo carro durante a travagem é transferida para a roda de inércia nas mesmas proporções, ou seja, quando a velocidade do veículo diminui a velocidade da roda aumenta, podendo assim este processo ser visto como uma troca de momentos (Kapoor e Parveen, 2013). Esta roda gira no vácuo sobre um eixo que, devido às chumaceiras magnéticas utilizadas, consegue evitar o contacto para que o seu

funcionamento dentro de uma caixa de alumínio possa ser feita com rotações de até aproximadamente 100 mil rpm (Carvalho *et al.*, 1997).

A energia cinética armazenada na roda de inércia, segundo Clegg (1996), é definida pela equação:

$$E = \frac{1}{2} I^2 \omega^2 \quad (2)$$

Na equação (2), I representa o momento de inércia e ω a velocidade de rotação angular. Segundo Clegg (1996), esta energia é proporcional à velocidade de rotação ao quadrado e pode ser armazenada em maiores quantidades se a velocidade de rotação for aumentada, mas com graves problemas de acontecer a rutura total da roda de inércia devido à fadiga. Para isso é necessário ter em conta o material utilizado no seu fabrico, optando-se por fibras de alta tensão como carbono, alinhadas de modo a que as forças centrífugas atuem ao longo das fibras no sentido da sua elevada resistência à tração.

Comparativamente com todos os outros sistemas apresentados, as rodas de inércia destacam-se pela sua simplicidade de construção e respetivo baixo preço de fabrico e diminuto tempo de carga, oferecendo uma tensão máxima estável e um nível de potência independente da carga e seu estado. Este sistema apresenta ainda a melhor faixa de resistência à temperatura que varia entre -40°C a 150°C. Relativamente ao grande objetivo deste tipo de aplicações, as reduções do consumo de combustível apresentam valores na ordem dos 43%, bem como uma recuperação em cerca de 70% da energia perdida na travagem num sistema convencional (Tie e Tan, 2013; Kapoor e Parveen, 2013).

Na tabela 2 é possível observar o tempo necessário para dissipar grandes quantidades de energia que uma roda de inércia aplicada num veículo pode garantir, que por sua vez poderá tornar-se um problema na sua estrutura envolvente e nos restantes constituintes do veículo caso ocorra uma falha mecânica, pois a elevada potência que será libertada poderá pôr em risco a segurança quer do veículo quer dos seus passageiros. Este problema é definido por vários autores como o obstáculo mais significativo à implementação destes sistemas.

Tabela 2: Potência dissipada de uma flywheel em vários períodos de tempo (Clegg, 1996)

Tempo necessário para dissipar energia (s)	Potência (kW)
0.001	3 600 000
0.01	360 000
0.1	36 000
1	3 600
5	720

A Torotrak Group (UK) é uma das principais responsáveis pelo desenvolvimento deste tipo de sistemas. Com o sistema “Flybrid” constituído por fibra de carbono de alta velocidade

e volante de aço com um peso de 25kg, permite armazenar energia suficiente para acelerar um carro até 90km/h sem recorrer a outras fontes de propulsão (UBC, 2010). Este sistema foi introduzido no carro LMP1 que participou na mítica prova de *Le Mans* em 2011 e, utilizando uma série de embraiagens pequenas, conseguiu fornecer até 100 kW e 540 kJ de armazenamento. Este sistema, também aplicado em carros Formula 1 desde 2011, conseguiu a partir de 2014 dobrar a capacidade de energia de 60 kW para 120 kW, embora os regulamentos limitem o uso deste sistema a apenas 7 segundos por cada volta. Uma das grandes vantagens que este sistema de recuperação de energia cinética oferece é a possibilidade de poder ser adaptado a diversos veículos sem requerer grandes alterações. Permitindo também melhorias a nível económico ao reduzir o desgaste dos travões convencionais, e a nível de conforto durante as travagens e acelerações sem que isso influencie o consumo do veículo (Torotrak, 2014; SPS, 2014).

A Volvo também desenvolveu um sistema KERS constituído por um volante, e a sua aplicação no eixo traseiro de um S60 conseguiu um ganho de potência em cerca de 80cv e uma redução no consumo de 30%. Ele foi ainda comparado a um modelo igual isento do sistema e obteve uma redução de 1,5 segundos numa aceleração de 0 - 100 km/h (Motortrend, 2013).

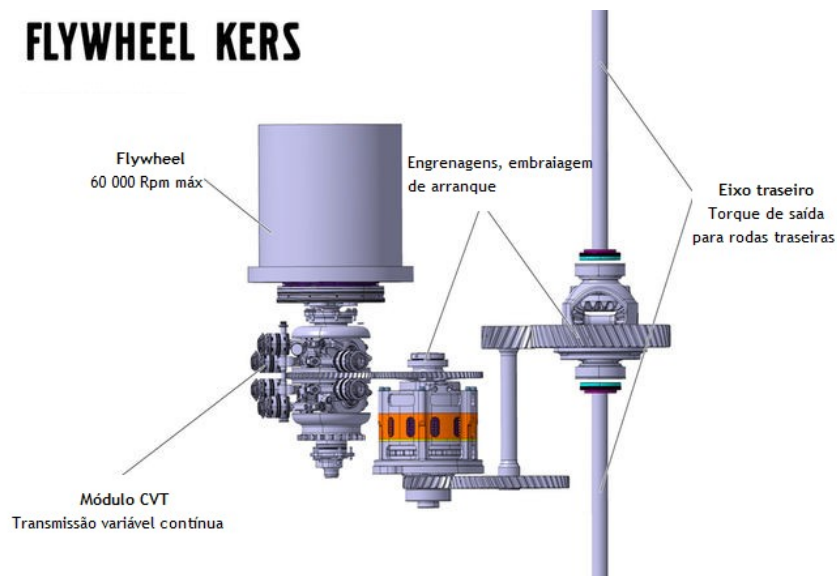


Figura 31: Sistema KERS desenvolvido pela Volvo (Motortrend, 2013)

Em geral, estes sistemas apresentam vantagens que incentivam investigadores e empresas a continuarem a sua investigação para possíveis aplicações em grande escala no fabrico de automóveis. Destaca-se assim a redução no consumo de combustível como o principal objetivo na recuperação de energia automóvel, bem como as reduções de emissões poluentes inerentes. Melhoram ainda a performance geral, reduzindo os esforços mecânicos quer do motor convencional quer dos travões, e permitem um arranque autónomo do veículo a partir destes sistemas. Os principais entraves à sua introdução em veículos *standard* estão

ligados ao preço adicional, embora reduzido, bem como ao seu peso. A nível de segurança, as rodas de inércia armazenam quantidades de energia muito elevadas. No caso do sistema aplicado no Volvo S60, quando o condutor aplica uma travagem, o volante pode atingir rotações na ordem das 60.000 por minuto que colocam o veículo e os passageiros em constante risco caso ocorra rutura do sistema (Clegg, 1996).

Tabela 3: Comparação entre os diferentes métodos de travagem regenerativa

Sistema de armazenamento de energia	Conversão de energia	Energia recuperada pelos travões	Exemplos de aplicação	Economia de combustível
Energia elétrica	Motor/gerador elétrico	-50 %	HEV, EV	10 %
Energia hidráulica	Motor Hidráulico	>70 %	Veículos citadinos, empresas de transportes	50-70 %
Flywheel (KERS)	Energia cinética rotacional	>70 %	F1, veículos convencionais	43 %

2.6. Sistemas piezoelétricos

Quando um veículo se desloca, independentemente do estado do pavimento, este está sujeito a um stress mecânico denominado por vibração. Como já referido anteriormente, a função do conjunto suspensão amortecedor é tentar reduzir o desconforto induzido aos ocupantes do veículo. No entanto, quase sempre acabam por ocorrer algumas vibrações ao nível de chassis e respetivos apoios, bem como em vários acessórios do veículo. Estas oscilações podem ser convertidas em energia elétrica através de transdutores piezoelétricos. Esta forma de colheita de energia provém de duas palavras, *piezo* que significa pressão e a segunda eletricidade. Esta forma de conversão de energia foi descoberta em 1880 por Pierre e Jacques Curie, ao verificarem experimentalmente que certos cristais como o quartzo, quando deformados mecanicamente, polarizam eletricamente, ou seja, formam cargas elétricas na sua superfície originando assim uma diferença de potencial entre as suas superfícies (efeito piezoelétrico direto). Inversamente, quando estes materiais se sujeitam a uma diferença de potencial, a sua estrutura sofre uma deformação (efeito piezoelétrico inverso) (Beeby *et al.*, 2006).

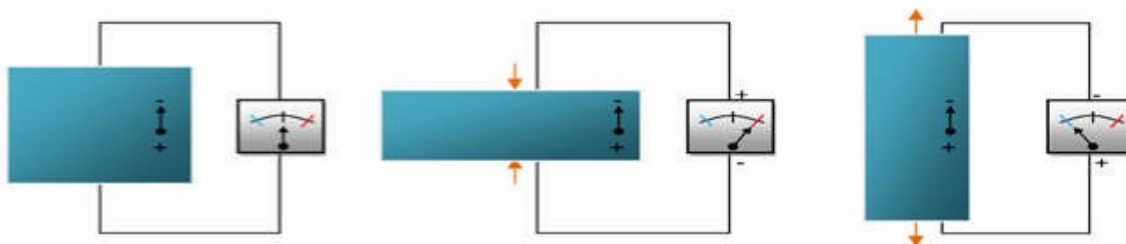


Figura 32: Efeito piezoelétrico direto (Casimiro *et al.*, 2009)

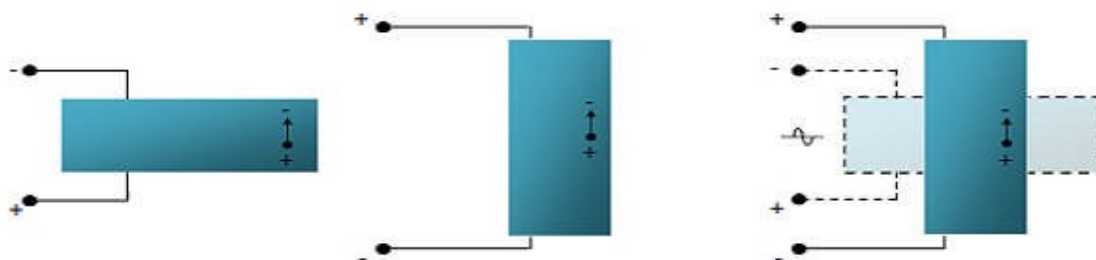


Figura 33: Efeito piezoelétrico inverso (Casimiro *et al.*, 2009)

Estes transdutores piezoelétricos podem ser revestidos com diversos tipos de materiais, sendo as cerâmicas os mais usuais como o caso do titanato de zirconato de chumbo (PZT) e o fluoreto de polivinilideno do material polimérico (PVDF). A escolha destes materiais depende da direção das forças para o fim a que se destinam, bem como a sua orientação de polarização. Vários autores definem uma capacidade de geração de energia elétrica a partir de transdutores piezoelétricos de cerca de $300 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ e classificam os materiais piezoelétricos em duas configurações, conforme o esforço a que estão sujeitos: *31-mode*, aplicado a matérias que geram eletricidade a partir de deslocamentos transversais, e *33-mode*, que se aplicam a deslocamentos compressivos (Beeby, 2006; Duarte e Ferreira, 2015).

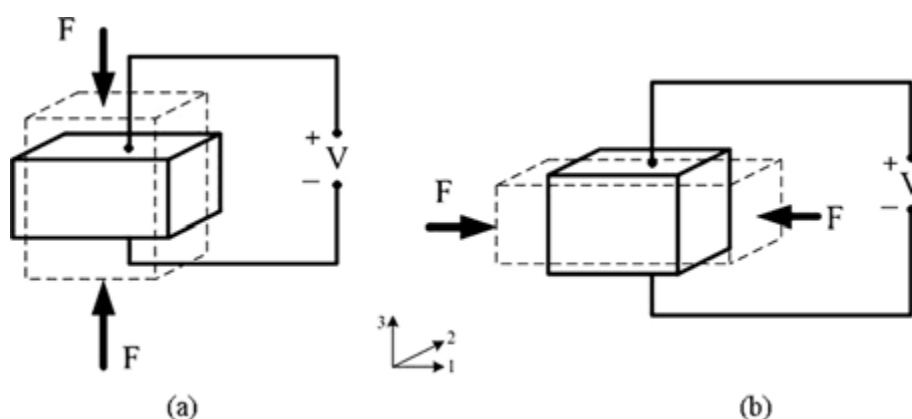


Figura 34: Geradores piezoelétricos: a) 31-mode (b) 33-mode (Ka'zmierski e Beeby, 2011)

Devido à baixa capacidade de geração de energia, na ordem de μW e mW , e à reduzida gama de vibrações existentes, estes sistemas não apresentam grande rentabilidade ao serem instalados no chassis de veículos.

Contudo, vários investigadores têm desenvolvido transdutores piezoelétricos aplicados no interior dos pneus com o intuito de poder detetar e transmitir variáveis dinâmicas para uma melhoria em termos de segurança.

O atrito criado com o solo representa cerca de 10-20 % do consumo total de combustível (Jousimaa *et al.*, 2016). A deformação presente no pneu, ao ser aproveitada por estes transdutores, poderá apresentar uma solução para alimentar os sensores introduzidos nos pneus (TPMS) que monitorizam a sua pressão quando o veículo está em funcionamento, substituindo assim os sistemas convencionais utilizados por vários fabricantes que, devido ao facto de necessitarem de recorrer a baterias como fonte de alimentação, apresentam vários inconvenientes, nomeadamente, o peso extra adicionado ao veículo e o alto custo de manutenção.

Os autores Makki e Pop-Iliev (2011) introduziram transdutores piezoelétricos do tipo PZT dentro dos pneus de um veículo e, utilizando uma malha de 4x40 nano geradores, obtiveram 2,3 W de potência produzida quando o veículo circulava a 854 rpm. Posteriormente, colocaram uma nova camada na parte superior dos primeiros transdutores e conseguiram uma potência de 4.6 W por pneu. Para o armazenamento da energia gerada utilizaram primeiramente um condensador e seguidamente transferiram a energia para o veículo através de um comutador em contacto continuo entre o chassis e a roda.



Figura 35: Malha piezoelétrica introduzida no pneu utilizada por Makki e Pop-Iliev (2011)

Os autores Makki e Pop-Iliev (2011), estudaram três maneiras distintas de captar a energia com base em transdutores piezoelétricos de elementos do tipo PZT e PVDF introduzidos no interior do pneu aproveitando as deformações a que ele se sujeita.

No primeiro caso de estudo utilizaram elementos PZT reforçados em latão com uma espessura de 0,23 mm e um diâmetro de 25 mm. Para calcular a potência máxima gerada por deformação foram ligadas cargas resistivas em paralelo ao elemento PZT, obtendo-se uma potência de 4.6 mW (9.37×10^3 mW/mm²) com uma resistência de carga de 46 kΩ a uma velocidade aproximada de 9km/h (80 RPM).

No segundo ensaio, em condições idênticas, optaram por um elemento PVDF dobrado dentro do pneu utilizando um elemento quadrado de 40x40 mm e uma espessura de 100 μm , conseguindo gerar uma potência de 0.85 mW ($5.3 \times 10^4 \text{ mW/mm}^2$) com uma resistência de 380 k Ω .

Relativamente ao terceiro ensaio, optaram por uma fita PVDF fixa no rebordo do pneu que, ao contrário dos ensaios anteriores, não utiliza a deformação do pneu mas sim o relaxamento da fita situada na parede lateral do pneu quando este se deforma a cada rotação da roda. Foi possível extrair uma potência de 0.23 mW ($1.337 \times 10^4 \text{ mW/mm}^2$) com uma resistência de carga de 400 k Ω . Este sistema, embora seja o menos produtivo, permite salvaguardar que o desempenho e segurança do pneu não são afetados.

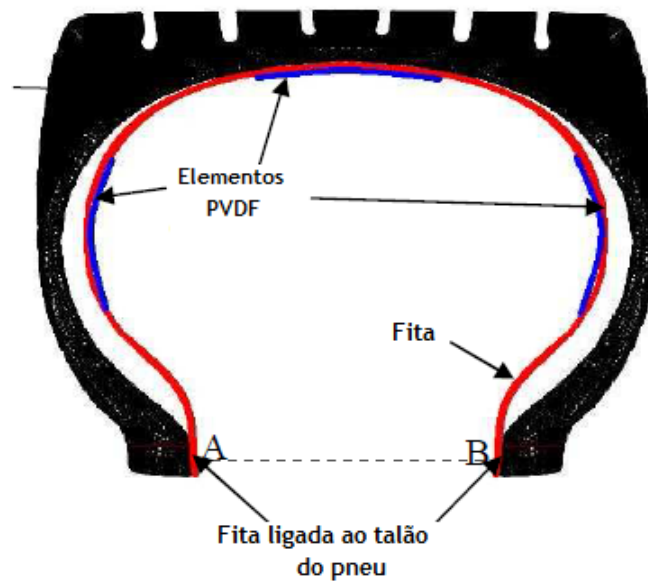


Figura 36: Instalação da fita PVDF no interior do pneu usada no terceiro ensaio (Jousimaa *et al.*, 2016)

Jousimaa *et al.* (2016) desenvolveram um sistema piezoelétrico aplicado no interior de um pneu baseado em elementos Thunder, fixados ao pneu através de uma borracha rígida para que a deformação do pneu não afetasse o sistema (figura 37).

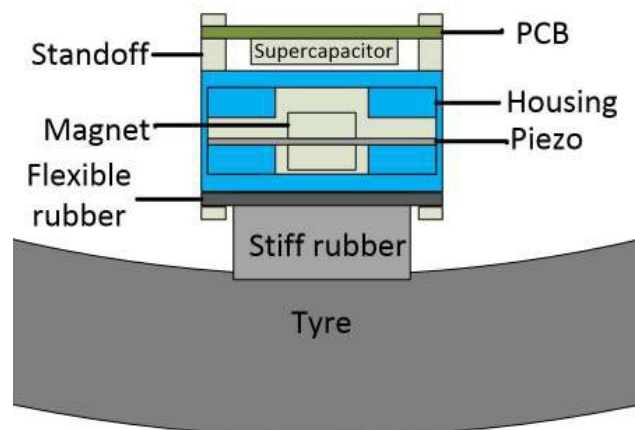


Figura 37: Componentes do sistema piezoelétrico apresentado por Jousimaa *et al.* (2016)

Foram realizados vários testes em laboratório, submetendo o protótipo a diferentes velocidades de rotação e variando a pressão exercida no pneu, dos quais se obtiveram valores de geração na ordem dos 88 μW . Como os autores referiram, uma vez que o consumo de energia de pico de um TPMS varia entre 30-45 μW , este sistema é perfeitamente aceitável para alimentar um sistema de sensores TPMS.

Os autores Löhndorf *et al.* (2007) também desenvolveram um sistema piezoelétrico para o mesmo fim e apresentaram valores médios de potência gerada de 13.5 μW para uma velocidade de 110 km/h, sendo que a eficiência de conversão nos seus módulos poderá atingir os 60%. No entanto, visto que para um TPMS padrão são necessários 200 μW s para efetuar uma transmissão de dados entre o sensor e a ECU do veículo, com estes sistemas autoalimentados seria necessário 40 a 50 segundos para que isso acontecesse.

Através dos vários estudos acerca da introdução de transdutores piezoelétricos em veículos, é possível concluir que as suas aplicações até a atualidade apenas se direcionam para elementos onde o consumo é muito reduzido, visto que a potência gerada por transdutores deste tipo se situa na ordem de μW e mW . Nesta gama, sensores TPMS alimentados por elementos PZT diretamente ligados ao pneu, embora a sua flexibilidade esteja comprometida, apresentam uma maior potência produzida face aos elementos PVDF. Esta tecnologia tem vindo a ser alvo de estudo e desenvolvimento para que este tipo de sensores se tornem autoalimentados e assim aumentem a sua vida útil, retirando alguma complexidade que existe nos sistemas atuais alimentados por baterias. Empresas com a Silent Sensors, com ajuda de investigadores da Universidade de Bath, têm vindo a desenvolver novos sensores TPMS para aplicar num futuro próximo em veículos, permitindo aos pneus detetarem informações sobre a flexão da parede do pneu bem como a sua pressão, e assim adequarem o pneu para uma maior eficiência no consumo e potenciarem uma maior segurança.

A GoodYear, empresa especializada no fabrico de pneus, anunciou um conceito de pneu designado por BH03 que opta por um sistema termo-piezoelétrico para a colheita de

energia, embora este pneu não tenha ainda data para o seu fabrico, poderá ser uma boa aposta para aplicações em AEVs (AENews, 2009).

2.7. Análise técnica

Após a análise das diferentes tecnologias apresentadas neste estudo, as principais características de cada uma delas são apresentadas na Tabela 4. Para esta análise, as tecnologias que convertem os vários tipos de energia desperdiçada num veículo em energia elétrica útil são consideradas relativamente aos vários investigadores ou empresas intervenientes.

Relativamente aos parâmetros analisados, é apresentada a potência instalada de um dispositivo de geração de energia elétrica, a qual traduz a sua capacidade de geração de energia em condições nominais - ou seja, a potência máxima teórica que ele pode gerar. Ela está relacionada com a potência de saída e é expressa em watts (W), sendo em alguns casos comparada com a área ocupada pelo dispositivo.

A eficiência de cada sistema apresentado também é expressa em valores percentuais, sendo a razão entre a saída útil de um dispositivo de conversão de energia e a entrada de energia.

Tabela 4: Análise comparativa das várias tecnologias

Tecnologia	Autores (empresa, investigadores)	Potência instalada	Eficiência Energética	Energia Gerada	Referência
Fotovoltaico	Toyota	50 W	15 %	7,5 Wh	Xiaodong e Chau, 2011
	Panasonic (HIT)	180 W	≈19 %	34,2 Wh	Toyota, 2017
	Hanergy	NA	31,6 %	8-10 kWh	Hanergy, 2016
	Nuon Solar Team	NA	26 %	5 kWh	Nuon Solar Team, 2017
TEG	Ikoma <i>et al.</i>	35,6 W	0,10 %	0.356 Wh	Ikoma <i>et al.</i> 1998
	BMW	750 W	≈ 5 %	37,5 Wh	LaGrandeur <i>et al.</i> , 2006
	Ford	400 W	5,7 %	22,8 Wh	Hussain <i>et al.</i> , 2009
	Honda	500 W	NA	NA	Mori <i>et al.</i> , 2011
Suspensão regenerativa	Peng <i>et al.</i>	67,5 W	NA	NA	Peng <i>et al.</i> , 2014

	Levant Power Corp. (Genshock)	1,34 kW	NA	2000 J ¹	Stanford, 2011
	Intertronic Gresser GmbH	NA	NA	1-17 kWh/100km	Intertronic, 2016
	Audi (eROT)	100-150 W ² 613 W ³	NA	NA	Audi, 2016
Travagem Regenerativa	Mazda i-loop	725 W	NA	0,20 Wh/s	Mazda, 2017
	Torotrak (flybrid)	100 kW	NA	540J ⁴	Torotrak, 2014
Piezoelétrico	Makki e Pop-Iliev	4,6 mW (9.37x10 ³ mW/mm ²)	NA	NA	Makki e Pop-Iliev, 2011
	Jousimaa, <i>et al.</i>	88 µW	NA	NA	Jousimaa, <i>et al.</i> , 2016
	Löhndorf <i>et al.</i>	13.5 µW	NA	NA	Löhndorf <i>et al.</i> , 2007

Por fim, a geração de energia também é apresentada e usada para quantificar a quantidade de energia elétrica gerada nas condições operacionais. Geralmente é expressa em joule (J) ou quilowatt hora (kWh).

Se direcionarmos estes métodos de recuperação de energia para veículos elétricos, o foco apontará para um aumento da sua autonomia, bem como para a tentativa de transformar estes veículos em autossustentáveis, ou seja, serem totalmente responsáveis pela produção da sua própria energia. As tecnologias existentes, ou em fase de investigação, produzem energia insuficiente para alimentar os seus motores elétricos, mas poderão alimentar os vários componentes de veículos elétricos que consomem aproximadamente 1320 W, enquanto o consumo total de energia desses acessórios é de aproximadamente 200-600 Wh (Tie e Tan, 2013).

¹ Dados adquiridos no conjunto de quatro amortecedores com um deslocamento vertical de 9 cm em cada mola testado num veículo pesado

² Dados para uma estrada com rugosidade média baixa

³ Dados para uma estrada com rugosidade média elevada

⁴ Dados médios para uma só travagem

3. Caracterização do Consumo Elétrico de Diferentes Veículos

Após a realização de uma pesquisa relativa aos vários tipos de tecnologias de *energy harvesting*, bem como uma análise dos possíveis benefícios da sua implementação nos diferentes tipos de veículos terrestres, pretende-se quantificar o consumo energético dos mais variados componentes elétricos de cada configuração automóvel, de modo a quantificar a possível contribuição da energia gerada para o consumo elétrico de um automóvel. Com uma constante inovação por parte dos componentes elétricos de um veículo, os automóveis têm vindo a sofrer sucessivas alterações relativamente às suas partes mecânicas e hidráulicas, sendo estas progressivamente substituídas por componentes elétricos, otimizando assim o desempenho do veículo e apresentando um impacto significativo na redução do peso e dos custos de manutenção por parte dos fabricantes. A Bosch é um dos grandes impulsionadores destas constantes inovações. Como demonstrado na figura 38, uma estimativa dos componentes elétricos instalados em veículos em 2010, face ao ano de 2000, revela que houve um incremento de novas tecnologias elétricas em 80% e que 20% das partes mecânicas e hidráulicas foram substituídas por peças elétricas, com dimensões mais reduzidas e sofisticadas.

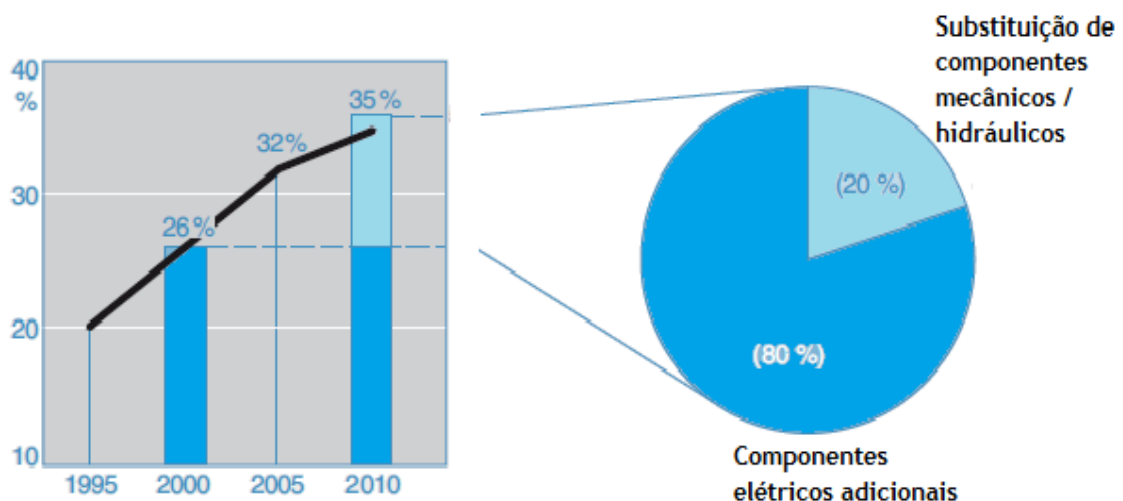


Figura 38: Estimativa percentual do incremento e substituição de componentes elétricos num veículo, a nível Europeu (Robert Bosch GmbH, 2007)

Os vários tipos de componentes elétricos presentes num veículo podem ser classificados de acordo com a sua função a desempenhar, em quatro vertentes. De acordo com a empresa Bosch (Robert Bosch GmbH, 2007), estes podem atuar em funções de:

- 1) segurança, onde se encontram componentes relativos à travagem e à estabilidade do veículo em marcha;
- 2) comunicação, com função de estabelecer toda a interface entre veículo-utilizador;
- 3) conforto, que permitem uma viagem mais adequada às necessidades dos passageiros;
- 4) "drivetrain", definição para classificar os componentes relativos a todos os processos efetuados pelo motor.

Ao longo dos anos, e como verificado na figura 38, é notório um aumento de componentes nestas diversas funções permitindo assim ao utilizador um melhor ajuste do veículo face às suas necessidades. Na figura 39 é possível verificar-se o aumento da introdução dos componentes de acordo com as funções a desempenhar no ano de 2010 face ao ano 2000.

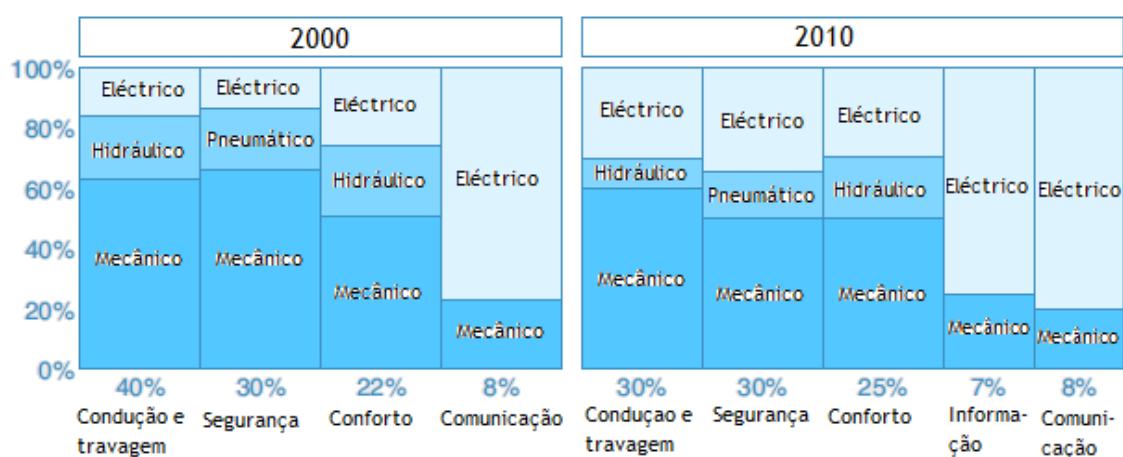


Figura 39: Evolução estimada da introdução e substituição de componentes elétricos pelas diversas funções de um veículo entre 2000 e 2010. (Robert Bosch GmbH, 2007)

A introdução de novos componentes elétricos levou a que o consumo energético por parte dos veículos também aumentasse. Em veículos convencionais alimentados através de um motor de combustão interna, o fornecimento de energia para alimentar os componentes efetua-se através do alternador do motor, sendo a bateria responsável pela alimentação quando a potência do alternador é insuficiente. Assim o consumo energético dos componentes elétricos durante uma viagem pode ser classificado de acordo com a sua duração de utilização. De acordo com a empresa Bosch (Robert Bosch GmbH, 2007), estes podem atuar durante uma utilização contínua, uma utilização de longa duração ou uma utilização curta duração. Na figura 40 é possível verificar os componentes de acordo com o grau de utilização bem como o seu consumo de potência média.

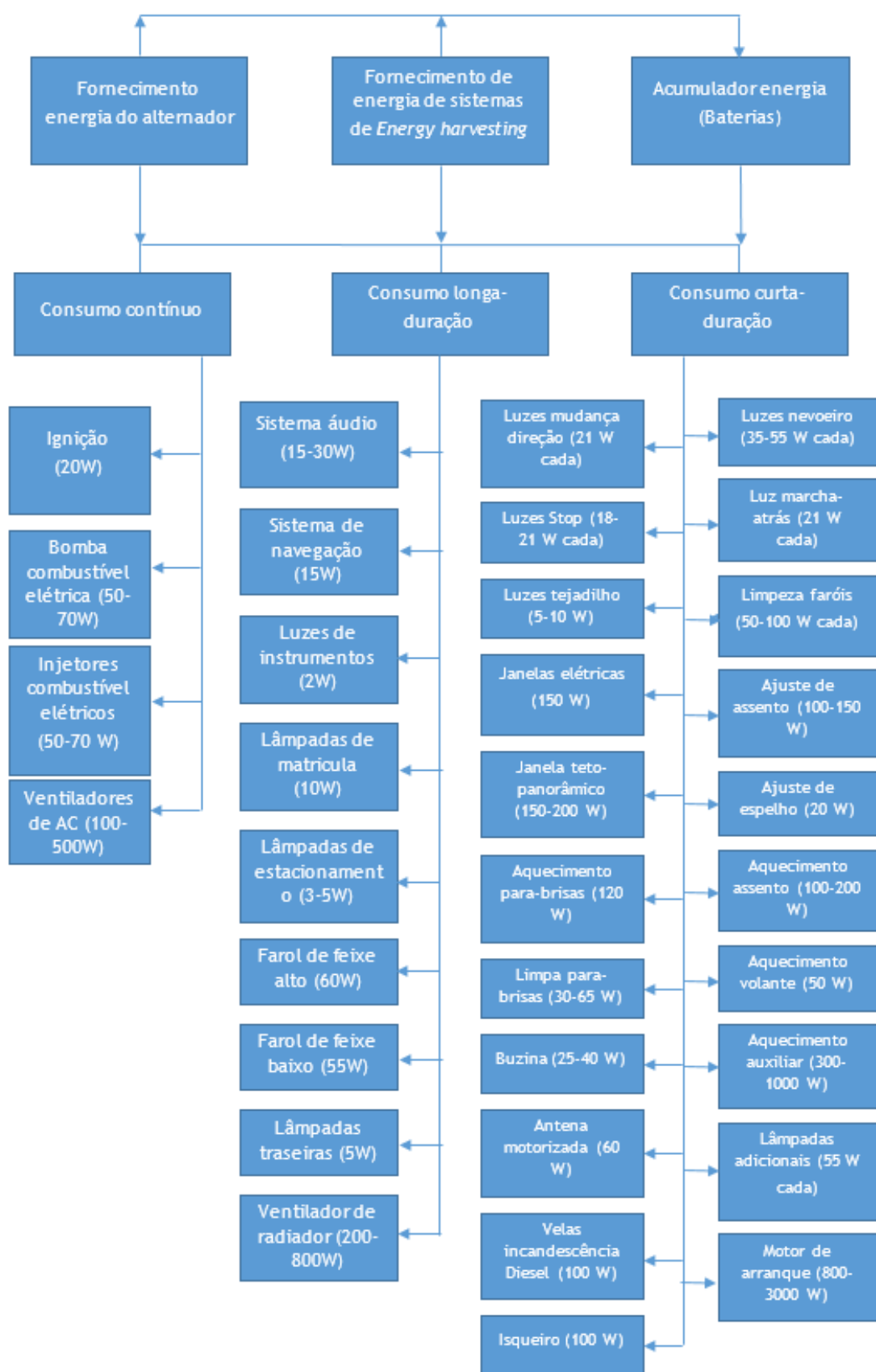


Figura 40: Consumo dos vários tipos de componentes elétricos de acordo com o grau de utilização (Robert Bosch GmbH, 2007)

Para o presente trabalho foram utilizados como caso de estudo três veículos distintos. Primeiramente será quantificado o consumo elétrico dos vários componentes de um veículo alimentado apenas por um motor de combustão interna, seguidamente analisado o consumo elétrico de um veículo com uma configuração híbrido *plug-in*, e por fim será estudado o comportamento dos diversos componentes elétricos associados a um veículo puramente elétrico.

Na impossibilidade de recolha de informação específica e correta acerca dos consumos dos diversos componentes, optou-se por recorrer aos respetivos manuais disponibilizados pelos fabricantes. Através da informação relativa aos fusíveis e relés dos diversos componentes e respetiva amperagem, e considerando a tensão de saída das baterias de 12 V, foi possível estimar uma potência para cada componente. Assumindo que as amperagens disponibilizadas na caixa de fusíveis correspondem a picos de corrente elevados ao qual é atribuído um coeficiente de segurança, optou-se apenas por utilizar 25% dessa mesma amperagem.

Relativamente ao consumo do sistema de ar-condicionado, na falta de informação disponibilizada pelos fabricantes dos diversos veículos, foi descartado este componente, embora os autores Farrington e Rugh (2000) tenham quantificado de um modo geral um pico de carga de ar-condicionado de 3000 W de energia elétrica (além da carga elétrica de base de 500 W), para um veículo elétrico.

Como caso de estudo, optou-se por analisar quatro cenários para cada tipo de veículo e quantificar assim a energia total consumida a partir da bateria:

- **Cenário 1:**

Neste cenário optou-se por simular uma viagem em autoestrada com uma duração de duas horas e trinta minutos (9000 s) efetuada durante o dia com o céu totalmente limpo. Para tal assumiu-se uma distância percorrida de 250 km.

- **Cenário 2:**

Neste cenário as estimativas são referentes à mesma viagem do cenário 1 com uma duração de duas horas de trinta minutos (9000 s), mas realizada durante a parte noturna do dia para uma distância de 250 km.

- **Cenário 3:**

Neste cenário foi considerada uma viagem em ambiente urbano com uma duração de 40 minutos (2400 s) realizada durante o dia com o céu totalmente limpo e uma distância estipulada em 30 km.

- **Cenário 4:**

Neste cenário as estimativas são referentes a uma viagem em ambiente urbano com uma duração de 40 minutos (2400 s) realizada durante a parte noturna do dia com uma distância estimada em 30 km.

Seguidamente, com base nos componentes disponibilizados pelo manual de cada tipo de veículo escolhido, ser-lhes-á atribuído um tempo de utilização em segundos para os diversos cenários e assim obtém-se uma estimativa do consumo elétrico, quantificado em termos de energia em Watt-hora. De realçar que os tempos de utilização foram arbitrados sem uma base de referência.

3.1. Consumo dos componentes elétricos para um veículo alimentado por um Motor de Combustão Interna

Para uma análise de consumo energético por parte dos vários componentes elétricos de um veículo MCI, optou-se por recorrer ao fabricante Honda, líder no desenvolvimento tecnológico, através do seu modelo *Civic Sedan* de 2016 alimentado por um motor a gasolina de 2000 litros.

Para uma melhor perceção da distribuição da potência elétrica pelos vários componentes, optou-se por dividi-los de acordo com a sua função a desempenhar. De seguida serão apresentados os valores de utilização e a respetiva potência consumida pelas várias funções de acordo com os cenários considerados.

Por uma questão de abreviação das tabelas que se seguem, foram utilizadas as seguintes abreviações de alguns parâmetros analisados, apresentados na legenda em baixo.

Legenda das tabelas:

A - 25% da amperagem apresentada pelo fabricante apresentada em Ampere (A)

P.M - Potencia média apresentada em Watt (W)

T.U - Tempo de utilização apresentado em segundos (s)

E - Energia apresentada em watt-hora (Wh)

- Segurança

Tabela 5: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P. M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
ESP	17,5	210	9000	525	9000	525	2400	140	2400	140
ABS/VSA motor	12,5	150	120	5	120	5	120	5	120	5
ABS/VSA FSR	10	120	120	4	120	4	120	4	120	4
VSA/ABS	2,5	30	180	1,5	180	1,5	120	1	120	1
SRS airbag	2,5	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Luz frontal baixa (médios)		110	0	0	9000	275	0	0	2400	73,3
Luz frontal alta (máximos)		12	0	0	7200	24	0	0	300	1
Luz de parque e diurna (Mínimos)		10	9000	25	9000	25	2400	6,6	2400	6,6
Luz travão		63	1200	21	1200	21	900	15,7	900	15,7
Luz pisca frontal direito		21	600	3,5	600	3,5	180	1	180	1
Luz pisca traseiro direito		21	600	3,5	600	3,5	180	1	180	1
Luz pisca frontal esquerdo		21	600	3,5	600	3,5	180	1	180	1
Luz pisca traseiro esquerdo		21	600	3,5	600	3,5	180	1	180	1
Luz apoio (marcha atrás)		32	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Luz matricula		10	9000	25	9000	25	2400	6,6	2400	6,6
Luz mala		5	0	0	60	0,08	0	0	0	0

Luzes do mapa interior	8	9000	20	9000	20	2400	5,3	2400	5,3
Luz do teto interior	8	0	0	600	1,3	0	0	300	0,6
Luz nevoeiro frontal	90	0	0	3600	90	0	0	0	0
Luz nevoeiro traseiro	90	0	0	3600	90	0	0	0	0
Total			641		1121,4		188,8		263,6

- Conforto

Tabela 6: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Motor banco condutor	15	180	60	3	60	3	0	0	0	0
Aquecedor banco traseiro	15	180	0	0	7200	360	0	0	0	0
Ventoinha interna 1	7,5	90	9000	225	0	0	1800	45	0	0
Motor limpa para-brisas frente	7,5	90	0	0	7200	180	0	0	2400	60
Descongelador vidro traseiro	10	120	300	10	0	0	0	0	0	0
Ventoinha do motor	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	2400	80
Ventoinha interna 2	1,25	15	9000	37,5	0	0	1800	7,5	0	0
Áudio	3,7	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Áudio amp	7,5	90	9000	225	9000	225	2400	60	2400	60
Compressor AC	2,5	30	9000	75	0	0	1800	15	0	0

Buzina	2,5	30	180	1,5	180	1,5	60	0,5	60	0,5
Aquecedor banco traseiro	3,75	45	0	0	7200	90	0	0	0	0
Motor inclinação banco passageiro	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Motor declinação banco passageiro	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
AIRCON	2,5	30	9000	75	0	0	1800	15	1800	15
Travão porta lateral passageiro	2,5	30	120	1	120	1	120	1	120	1
Desbloqueio da porta traseira condutor	2,5	30	120	1	120	1	120	1	120	1
Motor da janela motorista traseiro	5	60	120	2	120	2	120	2	120	2
Motor da janela motorista frontal	5	60	120	2	120	2	120	2	120	2
Trinco porta	5	60	120	2	120	2	120	2	120	2
Teto panorâmico	5	60	300	5	0	0	120	2	120	2
Trava da porta do motorista	2,5	30	120	1	120	1	60	0,5	60	0,5
Trinco porta passageiro	2,5	30	120	1	120	1	60	0,5	60	0,5
Motor Janela traseira passageiro	5	60	120	2	120	2	60	1	60	1
Motor da janela condutor	5	60	120	2	120	2	60	1	60	1
Motor inclinação banco condutor	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Motor declinação banco condutor	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Aquecedor banco dianteiro	5	60	0	0	7200	120	0	0	1800	30
Porta traseira condutor abrir	2,5	30	300	2,5	30	0,2	60	0,5	60	0,5
Porta traseira condutor fechar	2,5	30	300	2,5	300	2,5	60	0,5	60	0,5
Total				1088,5		1408,7		267		289,5

- Drivetrain

Tabela 7: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Ignição	7,5	90	60	1,5	60	1,5	60	1,5	60	1,5
Bateria	31,25	375	9000	937,5	9000	937,5	2400	250	2400	250
Caixa fusíveis	15	180	9000	450	9000	450	2400	120	2400	120
Motor arranque	7,5	90	120	3	90	2,2	60	1,5	60	1,5
Caixa fusíveis	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	2400	80
FI main	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
FI sub	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
FI ECU	2,5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20
Bobina IG	3,75	45	0	0	0	0	0	0	0	0
Back up	2,5	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Bomba combustível	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Controlo motor	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Total				2142		2141,2		573		573

- Comunicação

Tabela 8: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um MCI (HONDA, 2016)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Buzina	2,5	30	180	1,5	180	1,5	60	0,5	60	0,5
Sensor câmara frontal	1,25	15	300	1,25	300	1,25	120	0,5	120	0,5
SRS indicador	2,5	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Meter	2,5	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Sensor câmara frontal	1,25	15	300	1,25	300	1,25	120	0,5	120	0,5
Tomada de alimentação acessória dianteira	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Entrada inteligente telemóvel	2,5	30	1200	10	1200	10	300	2,5	300	2,5
Total				14		14		4		4

Quantificado o consumo dos vários tipos de componentes elétricos para os vários cenários apresentados, é possível obter uma percepção da necessidade energética que este tipo de veículo requer para um correto funcionamento, sendo o fornecimento de energia elétrica em condução proveniente essencialmente do alternador do motor e, quando o motor está desligado, os vários acessórios são alimentados pela bateria. Na tabela 9 é apresentado o resumo da energia despendida para os vários cenários, existindo um maior consumo energético durante a parte da noite, sobretudo devido à constante utilização do sistema de iluminação.

Tabela 9: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um MCI

MCI				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Segurança (Wh)	641	1121,4	188,8	263,6
Conforto (Wh)	1088,5	1408,7	267	289,5
Comunicação (Wh)	14	14	4	4
Drivetrain (Wh)	2142	2141,2	573	573
Total (Wh)	3885,5	4685,3	1032,8	1130,1

Se aos valores apresentados na tabela 9 considerarmos que um veículo MCI, segundo o autor Fernandes (2007), gasta em média 0,98 kWh por cada quilómetro percorrido, para os cenários 1 e 2, com uma distância estimada em 250 km, e para os cenários 3 e 4 com uma distância estimada em 30 km, é possível estimar a percentagem aproximada equivalente à energia despendida pelos vários componentes elétricos do veículo.

Tabela 10: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um MCI

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Consumo Total (kWh)	245	245	29,4	29,4
Consumo componentes elétricos (kWh)	3,9	4,7	1	1,1
Percentagem do consumo dos componentes elétricos (%)	1,6	2	3,4	3,5

Embora em termos percentuais o consumo elétrico dos vários componentes seja bastante reduzido, é necessário ter em consideração estes valores pois uma redução do consumo de potência por parte do alternador terá um impacto significativo no consumo final do veículo.

3.2. Consumo dos componentes elétricos para um veículo com uma configuração Híbrida

Para o tipo de configuração híbrida *plug-in*, onde o motor elétrico poderá ser carregado através de uma alimentação externa, optou-se por escolher um veículo mais polivalente no que diz respeito à sua utilização. Assim, recorreu-se ao fabricante Mitsubishi através do seu modelo *Outlander* de 2016, alimentado por um motor a gasolina de 2000 litros e suportado por dois motores elétricos de 60 kW posicionados no eixo dianteiro e traseiro, alimentados por baterias de íões de lítio com 12 kWh de capacidade. Em modo totalmente elétrico, este veículo permite uma autonomia estimada de 52 km (Automonitor, 2017).

Para uma análise detalhada do consumo dos diversos componentes elétricos deste veículo, optou-se por recorrer à divisão apresentada por Robert Bosch GmbH (2007).

Por uma questão de abreviação das tabelas que se seguem, foram utilizadas as seguintes abreviações de alguns parâmetros analisados, apresentados na legenda em baixo.

Legenda das tabelas:

A - 25% da amperagem apresentada pelo fabricante apresentada em Ampere (A)

P.M - Potencia média apresentada em Watt (W)

T.U - Tempo de utilização apresentado em segundos (s)

E - Energia apresentada em watt-hora (Wh)

- Segurança

Tabela 11: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
SRS airbag	1,875	22,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistema de travagem antibloqueio	10	120	180	6	180	6	300	10	300	10
Sistema de travagem anti bloqueio	7,5	90	180	4,5	180	4,5	300	7,5	300	7,5
Alarme	5	60	0	0	0	0	120	2	120	2
Buzina	2,5	30	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Bloqueio elétrico de estacionamento	7,5	90	60	1,5	60	1,5	60	1,5	60	1,5
Lâmpadas de mudança de direção dianteiras		42	300	3,5	300	3,5	300	3,5	300	3,5
Faróis, feixe alto		120	0	0	7200	240	0	0	600	20
Faróis de baixa intensidade		110	9000	275	9000	275	2400	73,3	2400	73,4
Farol de alta intensidade		70	0	0	7200	140	0	0	600	11,7
Lâmpadas de posições		10	300	0,8	300	0,8	300	0,8	300	0,8
Faróis de neblina dianteiros		110	0	0	9000	275	0	0	0	0
Lâmpadas de mudança de direção laterais		10	300	0,8	300	0,8	300	0,8	300	0,8
Lâmpada de travão superior		10	600	1,7	600	1,7	600	1,7	600	1,6

Lâmpadas de marcha atrás	42	60	0,7	60	0,7	60	0,7	60	0,7
Lâmpadas de matrícula	10	9000	25	9000	25	2400	6,7	2400	6,7
Luzes de mudança de direção traseiras	42	300	3,5	300	3,5	300	3,5	300	3,5
Lâmpadas de stop	42	600	7	600	7	600	7	600	7
Lâmpada sala de bagagem	8	0	0	300	0,7	0	0	60	0,1
Lâmpada de sala (traseira)	8	0	0	60	0,13	0	0	60	0,1
Lâmpadas de mapa e sala (frente)	16	9000	40	9000	40	2400	10,7	60	0,2
Downlight	5	0	0	300	0,4	0	0	60	0,08
Lâmpadas de espelho retrovisor	2	0	0	120	0,07	0	0	60	0,03
Lâmpada de caixa de luva	1,4	0	0	120	0,05	0	0	60	0,02
Total			370,5		1026,8		130,3		152

- Conforto

Tabela 12: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Controle elétrico da janela	7,5	90	180	4,5	180	4,5	300	0,7	300	7,5
Motor janelas traseiras	7,5	90	60	1,5	60	1,5	60	1,5	60	1,5
Aquecedor	7,5	90	0	0	9000	225	0	0	2400	60
Limpadores de para-brisas	7,5	90	60	1,5	9000	225	60	1,5	2400	60
Porta fechaduras	5	60	20	0,3	60	1	60	1	60	1
Limpador de janela traseira	3,75	45	60	0,7	9000	112,5	0	0	2400	30
Teto solar	5	60	9000	150	0	0	2400	40	0	0
Espelho da porta aquecida	1,875	22,5	300	1,8	300	1,875	300	1,8	2400	15
Espelhos retrovisores exteriores	2,5	30	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Motor de assento	7,5	90	60	1,5	60	1,5	60	1,5	60	1,5
Assento aquecido	7,5	90	0	0	9000	225	0	0	2400	60
Porta traseira elétrica	7,5	90	60	1,5	60	1,5	60	1,5	60	1,5
Aquecedor limpa para-brisas	3,75	45	0	0	0	0	0	0	300	3,7
Limpa farol	5	60	60	1	7200	120	60	1	2400	40
Total				164,9		919,9		51		282,2

- Drivetrain

Tabela 13: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Interruptor de ignição	2,5	30	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Sistema de tração 4WD	2,5	30	0	0	7200	60	2400	20	2400	20
Carregar	1,875	22,5	1800	11,2	1800	11,2	2400	15	2400	15
Motor de ventilação do condensador AC	7,5	90	9000	225	0	0	2400	60	0	0
Motor do ventilador do radiador	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	0	0
ETV	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Motor	1,875	22,5	9000	56,2	9000	56,2	2400	15	2400	15
ENG / POWER	5	60	9000	150	9000	150	2400	40	2400	40
Bomba de combustível	3,75	45	7200	90	7200	90	1200	15	1200	15
Bobina de ignição	2,5	30	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Bomba de vácuo (freio regenerativo)	7,5	90	300	7,5	300	7,5	300	7,5	600	15
Bomba de água (motor elétrico)	5	60	9000	150	9000	150	2400	40	2400	40
Válvula solenoide (ar condicionado)	1,875	22,5	9000	56,2	0	0	2400	15	0	0
Bomba de água (ar condicionado)	1,875	22,5	9000	56,2	0	0	2400	15	0	0
Controle da unidade de motor elétrico	2,5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20

Controle de ignição	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Controle de ignição	1,875	22,5	9000	56,2	9000	56,2	2400	15	2400	15
Total				1459,7		1182,2		418,5		256

- Comunicação

Tabela 14: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um PHV (Mitsubishi Motors Corporation, 2013)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Tomada de acessório	3,75	45	0	0	0	0	300	3,7	300	3,7
Indicador de aviso de perigo	3,75	45	0	0	60	0,75	60	0,7	60	0,7
Rádio	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Relé da unidade de controle	1,875	22,5	9000	56,2	9000	56,2	2400	15	24 00	15
Isqueiro	3,75	45	7200	90	7200	90	2400	30	2400	30
Sistema de áudio amplificador	7,5	90	9000	225	9000	225	2400	60	2400	60
IOD-sistema de memória	7,5	90	9000	225	9000	225	2400	60	2400	60
Instrumentos	2.5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20
Total				783,7		784,5		219,5		219,5

Na tabela seguinte é apresentado o somatório do consumo energético das quatro funções dos respetivos componentes elétricos para este tipo de veículo, para os 4 cenários apresentados.

Tabela 15: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um PHV

PHV				
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Segurança (Wh)	370,5	1026,8	130,3	152
Conforto (Wh)	164,9	919,9	51,1	282,2
Comunicação (Wh)	783,7	784,5	219,5	219,5
Drivetrain (Wh)	1459,7	1182,2	418,5	256
Total (Wh)	2778,8	3909,3	819,4	909,7

Quantificado o consumo dos vários tipos de componentes elétricos para cada cenário, e assumindo que o consumo médio energético total de um veículo híbrido é de 0,32 kWh por cada quilómetro percorrido em condições normais, de acordo com o autor Fernandes (2007), é possível estimar a percentagem aproximada equivalente à energia despendida pelos vários componentes elétricos do veículo.

Tabela 16: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um PHV

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Consumo Total (kWh)	80	80	9,6	9,6
Consumo componentes elétricos (kWh)	2,8	3,9	0,8	0,9
Percentagem do consumo dos componentes elétricos (%)	3,5	5	8,3	9,3

De um modo geral a percentagem de consumo de componentes elétricos face ao consumo total ainda é bastante reduzida, sendo que para os cenários citadinos o consumo se revele mais elevado o que se já tinha vindo a revelar no veículo MCI muito devido à maior imprevisibilidade de condução e constante recorrência dos diversos componentes. Ainda face ao veículo MCI é bastante notório, embora os componentes não sejam os mesmos, uma grande redução no consumo total do veículo sendo praticamente três vez menor.

3.3. Consumo dos componentes elétricos para um veículo com uma configuração totalmente elétrica

Para o tipo de configuração totalmente elétrica, onde o veículo tem a sua locomoção puramente elétrica, optou-se por recorrer à marca Tesla, através do modelo *Model S*, sendo esta uma das mais conceituadas no ramo automóvel. Este veículo, através da sua configuração P100D, dispõe de baterias com capacidade de 100 kWh e um consumo energético total em cidade e autoestrada de 23 e 21 kWh por cada 100 km, respetivamente (Fueleconomy, 2016). Para uma perceção aproximada do consumo energético dos vários componentes que constituem este automóvel, não considerando os motores elétricos e o ar-condicionado, serão apresentadas as tabelas relativas às diversas funções dos componentes apresentadas por Robert Bosch GmbH (2007).

Por uma questão de abreviação das tabelas que se seguem, foram utilizadas as seguintes abreviações de alguns parâmetros analisados, apresentados na legenda em baixo.

Legenda das tabelas:

A - 25% da amperagem apresentada pelo fabricante apresentada em Ampere (A)

P.M - Potencia média apresentada em Watt (W)

T.U - Tempo de utilização apresentado em segundos (s)

E - Energia apresentada em watt-hora (Wh)

- Segurança

Tabela 17: Consumo energético da função de segurança dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Sistema de nivelamento de farol	1,25	15	120	0,5	120	0,5	60	0,2	60	0,2
Luzes de vaidade, retrovisor	1,25	15	0	0	120	0,5	0	0	2400	10
Restrições de segurança passivas	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Sensor para modo Drive (controle estabilidade / tração)	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Travão de estacionamento elétrico	5	60	120	2	120	2	120	2	120	2
Sensores de estacionamento	1,25	15	60	0,25	60	0,25	120	0,5	120	0,5
Travão de estacionamento elétrico	5	60	60	1	120	2	120	2	120	2
Sensor temperatura HVAC no veículo	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Alças da porta traseira	1,25	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Sensor de potência, interruptor de freio	1,25	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Direção assistida	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
ABS	1,25	15	300	1,2	300	1,2	300	1,2	300	1,2
ESP	6,25	75	9000	187,5	9000	187,5	2400	50	2400	50
Faróis dianteiros - feixe alto / baixo	5	60	0	0	9000	150	0	0	0	0
Luz - exterior / interior	7,5	90	0	0	9000	225	0	0	2400	60
Suspensão pneumática	6,25	75	9000	187,5	9000	187,5	2400	50	2400	50
Total				530		906,5		146		216

- Conforto

Tabela 18: Consumo energético da função de conforto dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Aquecedores de bancos traseiros	7,5	90	0	0	3600	90	0	0	2400	60
Aquecedor do assento motorista	3,75	45	0	0	3600	45	0	0	2400	30
Aquecedor do assento passageiro	3,75	45	0	0	3600	45	0	0	2400	30
Teto solar	6,25	75	9000	187,5	0	0	2400	50	0	0
Lógica do aquecedor de ar da cabine	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Controle climático da cabine	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Controlador térmico	2,5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20
Motor de elevação da janela (traseira direita)	6,25	75	60	1,25	60	1,2	60	1,2	0	0
Motor de elevação da janela (frente direita)	6,25	75	60	1,25	60	1,2	60	1,2	60	1,2
Controles de porta (lado direito)	2,5	30	60	0,5	60	0,5	60	0,5	60	0,5
Aquecedores do banco central traseiro, lavador / limpador de gelo	7,5	90	0	0	3600	90	0	0	2400	60
Motor de elevação de janela (traseira esquerda)	6,25	75	60	1,25	60	1,25	60	1,25	0	0
Motor de elevação de janela (frente esquerda)	6,25	75	60	1,25	60	1,25	60	1,25	0	0
Controles da porta (lado esquerdo)	0,25	3	60	0,05	60	0,05	60	0,05	60	0,05
Carregador (porta de carga)	1,25	15	0	0	0	0	0	0	0	0

Luz da caixa da luva	1,25	15	60	0,25	60	0,25	0	0	60	0,25
Vidro traseiro aquecido	7,5	90	0	0	0	0	0	0	0	0
Assento elétrico dianteiro esquerdo	7,5	90	0	0	3600	90	0	0	2400	60
Assento elétrico dianteiro direito	7,5	90	0	0	3600	90	0	0	2400	60
Fã de cabine	6,25	75	9000	187,5	9000	187,5	2400	50	0	0
Ventilador condensador (esq)	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	0	0
Ventilador condensador (dir)	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	0	0
Aquecedor traseiro (esq)	3,75	45	0	0	9000	112,5	0	0	2400	30
Aquecedor traseiro (dir)	3,75	45	0	0	3600	45	0	0	2400	30
Controle do aquecedor do assento traseiro médio	3,75	45	0	0	3600	45	0	0	60	0,7
Aquecedor traseiro do assento traseiro	3,75	45	0	0	3600	45	0	0	2400	30
Deslizador de limpador	3,75	45	0	0	0	0	0	0	0	0
Total				1130,8		1641		305,5		432,8

- Drivetrain

Tabela 19: Consumo energético da função de drivetrain dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Controles de coluna de direção	1,25	15	300	1,2	300	1,2	300	1,2	300	1,2
Wiper Park	3,75	45	300	3,7	300	3,7	300	3,7	300	3,7
Inversor	1,25	15	300	1,2	300	1,2	300	1,2	300	1,2
Bomba de refrigerante da bateria 1	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Atuadores de entrada	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Bomba de refrigerante do Powertrain	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Bomba de refrigerante da bateria 2	3,75	45	9000	112,5	9000	112,5	2400	30	2400	30
Porta-poder	7,5	90	0	0	0	0	0	0	0	0
Controles do corpo (grupo 2)	7,5	90	9000	225	9000	225	2400	60	2400	30
Sistema de gerenciamento de bateria	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Bomba de vácuo	10	120	9000	300	9000	300	2400	80	2400	80
Total				943,7		943,7		256,2		226,2

- Comunicação

Tabela 20: Consumo energético da função de comunicação dos componentes elétricos para cada cenário de um AEV (TESLA, 2014)

Componentes	Cenário 1				Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	A	P.M	T.U	E	T.U	E	T.U	E	T.U	E
Sensor de acessórios, rádio, USB	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Amplificador de áudio básico	5	60	9000	150	9000	150	2400	40	2400	10
Amplificador de áudio premium	5	60	9000	150	9000	150	2400	40	2400	10
Poder do interlocutor	2,5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20
Tomada elétrica de 12V	3,75	45	0	0	0	0	0	0	0	0
Memória do assento do condutor	1,25	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Entrada passiva (buzina)	5	60	60	1	60	1	60	1	60	1
Controles do corpo (grupo 1)	2,5	30	9000	75	9000	75	2400	20	2400	20
Painel de instrumentos	1,25	15	9000	37,5	9000	37,5	2400	10	2400	10
Sensor de intrusão (somente na Europa)	1,25	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Tela sensível ao toque	5	60	120	2	120	2	180	3	180	3
transmissão de 12V (cabine)	5	60	0	0	0	0	0	0	0	0
Total				528		528		144		84

Na tabela 21 é apresentado o somatório do consumo energético das 4 funções dos respetivos componentes elétricos para este tipo de veículo, para os 4 cenários apresentados, sendo que devido à sua natureza puramente elétrica o consumo energético é alimentado unicamente pela bateria do veículo, que para o veículo em questão apresenta uma energia de armazenamento de 100 kWh, como já apresentado.

Tabela 21: Totalidade do consumo energético das diversas funções para cada cenário de um AEV

	AEV			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Segurança (Wh)	530	906,5	146	216
Conforto (Wh)	1130,8	1641	305,5	432,8
Comunicação (Wh)	528	528	144	84
Drivetrain (Wh)	943,7	943,7	256,2	226,2
Total (Wh)	3132,5	4019,2	851,7	959

Segundo o fabricante, como já referenciado, o consumo energético em ambiente citadino e em autoestrada para esta configuração estipula-se em cerca de 23 e 21 kWh por cada cem quilómetros, respetivamente. Com a estimativa do consumo energético dos componentes é possível obter uma aproximação em termos percentuais relativamente ao consumo total do veículo. Esta análise é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22: Valores percentuais do consumo energético dos componentes elétricos face ao consumo total de um AEV

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Consumo Total (kWh)	52,5	52,5	6,9	6,9
Consumo componentes elétricos (kWh)	3,1	4	0,85	0,96
Percentagem de consumo dos componentes elétricos (%)	5,3	7,4	12,3	14

A partir da tabela 22, relativa ao veículo AEV em questão, verifica-se que os níveis de consumo total de energia em relação aos veículos anteriores é significativamente mais reduzido, mas devido ao elevado número de componentes elétricos, este tipo de veículo apresenta um consumo maior por parte destes componentes quando comparado com o veículo PHV. Relativamente aos cenários citadinos, onde o consumo por parte dos componentes se tem vindo a revelar em maior percentagem face ao consumo total, neste veículo os componentes elétricos são responsáveis por mais de 10% do consumo total, pelo que caso seja possível alimentá-los através de uma fonte suplementar à bateria, conseguir-se-á adicionar benefícios ao nível da autonomia.

4. Caso de Estudo

Após terem sido considerados vários cenários de utilização dos três tipos de configurações de veículos e, conseqüentemente, quantificados os consumos energéticos dos vários tipos de componentes elétricos através da informação da amperagem dos fusíveis, disponível nos manuais disponibilizados pelas marcas, foi possível obter uma estimativa média da necessidade energética que cada veículo requer para garantir o funcionamento correto de cada um quando requisitado pelo operador do veículo. Toda esta energia despendida não será aproveitada para a locomoção do veículo e, sendo esta proveniente do combustível que alimenta o motor (e por sua vez faz funcionar o alternador responsável pela transformação em energia elétrica no caso dos motores de combustão interna e híbridos, e no caso dos puramente elétricos apenas requerida pelas baterias), o rendimento dos motores e por sua vez a autonomia será diretamente afetado por esta dependência.

Como o principal objetivo desta investigação consiste na quantificação da energia elétrica gerada pelas diversas tecnologias estudadas e determinação da sua contribuição para as necessidades elétricas dos diferentes veículos, será feita de seguida uma análise consoante as tecnologias de *energy harvesting* já desenvolvidas e outras em fase de investigação, apresentadas na tabela 4, que poderão ser implementadas nos vários veículos, e assim conseguir que estes transformem a energia proveniente de fontes externas em energia elétrica, alimentando, desse modo, os vários componentes elétricos do veículo. No caso de veículos puramente elétricos será ainda analisada a possibilidade de carregar as baterias em andamento.

Será assim estudada a potencial contribuição destas tecnologias para a sustentabilidade de diferentes tipos de veículos, tornando os mesmos mais eficientes do ponto de vista energético, e contribuindo para uma melhoria no consumo de combustível e uma redução nas emissões poluentes.

Na tabela 4 são apresentados vários projetos de recuperação de energia, mas na análise seguinte apenas serão utilizadas as tecnologias que apresentam maior potencial e estado de desenvolvimento mais avançado.

4.1. Tecnologia fotovoltaica

Nesta tecnologia, a empresa Hanergy (2016) apresenta o valor mais elevado relativamente à eficiência de conversão de energia solar, de 31,6%, conseguindo valores na ordem de 8-10 kWh por dia nos seus veículos, oferecendo assim uma autonomia média de 80km utilizando apenas energia solar. Embora este projeto apresente valores aliantes, apenas será disponibilizada nos seus próprios veículos revestidos entre 3,5-7 m² por células

fotovoltaicas, o que será um entrave na aplicação nos veículos dos mais variados fabricantes automóveis. No entanto, a mesma tecnologia poderá ser replicada por outros fabricantes, sendo assim utilizada no presente estudo.

Para proceder à análise, será escolhido o sistema desenvolvido pela Panasonic designado por HIT, que embora seja alvo de uma parceria com a empresa Tesla, o mesmo já foi instalado no veículo Toyota Prius PHV, o qual apresentou valores de eficiência de conversão de 19%, permitindo assim uma produção de 34,2 Wh. Segundo o fabricante, este sistema irá permitir um aumento em seis km na sua autonomia. De acordo com os cenários já apresentados e com o tempo estimado de exposição ao sol por parte do veículo, é possível estimar a contribuição de energia gerada através da sua produção em watt e a sua eficiência, por parte deste sistema se aplicado nos respetivos veículos, sendo os resultados apresentados na tabela 23.

Tabela 23: Estimativa da geração de energia elétrica do sistema Panasonic-HIT em cada cenário

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de utilização (seg)	9000	0	1200	0
Energia gerada	85,5 Wh	0	11,4 Wh	0

Uma das grandes vantagens desta tecnologia de *energy harvesting* recai sobre a possibilidade de transformar a energia solar em elétrica quando o veículo se encontra em repouso, podendo assim recarregar as baterias sem que este necessite de recorrer a fontes elétricas externas. Para além disso, a tecnologia funciona também quando o veículo está em andamento, tal como as restantes tecnologias a seguir analisadas.

4.2. Tecnologia termoeétrica

De acordo com a pesquisa efetuada, várias empresas líderes mundiais como a BMW, FORD ou HONDA, têm vindo ao longo do tempo a desenvolver sistemas de recuperação de energia térmica a partir de módulos termoeletrônicos designados por TEG, maioritariamente proveniente das temperaturas elevadas no sistema de escape.

Dos sistemas apresentados na tabela 4, o sistema apresentado pela empresa alemã BMW (LaGrandeur *et al.*, 2006) composto por elementos segmentados aplicado no seu modelo 530i obteve resultados de geração de 750 watt com uma eficiência de aproximadamente 5% que se traduz numa geração de energia em cerca de 37,5 Wh. Na tabela 24, considerando o tempo de geração destes módulos máximo para cada cenário, é possível estimar a geração de energia elétrica adicional por parte deste sistema.

Tabela 24: Estimativa da geração de energia elétrica do sistema TEG apresentado pelo fabricante BMW para cada cenário apresentado

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de utilização (seg)	9000	9000	2400	2400
Energia gerada	94 Wh	94 Wh	19 Wh	19 Wh

Embora esta tecnologia seja implementada para recuperar a maior parcela de energia desperdiçada num veículo de combustão interna, a sua baixa eficiência é um entrave para a sua implementação futura. Atendendo à crescente aposta no mercado de veículos elétricos, onde estas perdas térmicas não se verificam, possivelmente esta tecnologia será descartada por parte dos fabricantes automóveis num futuro próximo.

4.3. Tecnologia de suspensão regenerativa

De acordo com a pesquisa realizada, a tecnologia de suspensão regenerativa é a que mais vantagens apresenta e tem originado grandes desenvolvimentos por parte de investigadores e empresas. A empresa alemã Intertronic Gresser GmbH (Intertronic, 2016) tem vindo a desenvolver um sistema inovador de suspensão regenerativa a partir de um gerador linear, demonstrando que para um veículo ligeiro com um peso de 1.600 kg é possível gerar energia elétrica entre 1 a 17 kWh por cada 100 km percorridos. Como o funcionamento da suspensão se relaciona diretamente com a rugosidade do pavimento onde o veículo circula, assumiu-se para os cenários em autoestrada (1 e 2) a geração de energia mínima fornecida pela empresa de 1 kW por cada 100 km e para os cenários citadinos (3 e 4), onde as condições do pavimento apresentam maiores irregularidades, bem como existem alguns obstáculos e em alguns casos o pavimento é revestido por paralelos, assumiu-se uma geração de 4 kW por cada 100 km percorridos. Na tabela 25 é possível verificar, para cada cenário, os valores estimados de geração de energia elétrica, utilizando esta tecnologia.

Tabela 25: Estimativa da geração de energia elétrica da tecnologia de suspensão regenerativa do fabricante Intertronic Gresser GmbH para cada cenário apresentado

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de utilização (seg)	9000	9000	2400	2400
Energia gerada	2,5 kWh	2,5 kWh	1,2 kWh	1,2 kWh

De acordo com os dados de geração de energia deste sistema apresentado, os valores estimados oferecem grandes potencialidades deste tipo de tecnologia para ser implementado nos vários tipos de veículos, sendo mais vantajoso consoante a degradação do piso, podendo ser uma mais-valia em veículos *offroad*.

4.4. Tecnologia de travagem regenerativa

A tecnologia de travagem regenerativa, de acordo com a pesquisa efetuada, distingue-se das restantes em duas variantes: a KERS, onde apenas fornece energia mecânica através de uma roda de inércia para auxiliar a aceleração, que já se encontra introduzida na maioria dos veículos com configuração híbrida e puramente elétrica; e outra forma de travagem regenerativa onde é permitida a geração de energia elétrica proveniente da desaceleração do motor.

Como já mencionado anteriormente, o sistema *i-loop* desenvolvido pela Mazda é capaz de produzir no seu funcionamento nominal 725 Ws, equivalente a 0,20 Wh a cada segundo de funcionamento. Este sistema permite ainda um armazenamento adicional de energia de mais de 25.000 J (7 Wh) a cada 10 segundos de funcionamento, conseguindo realizar a entrega total desta quantidade de energia em cerca de 40 s.

Assumindo que o tempo médio de uma travagem é em média 3 s, a energia gerada pelo sistema *i-loop* é em média cerca de 0,6 Wh. Para os respetivos cenários, são apresentadas duas estimativas de travagens e a respetiva energia gerada. De salientar que os dados apresentados na tabela 26 apenas demonstram a energia gerada, descartando a possível energia já armazenada pelo sistema.

Tabela 26: Estimativa da geração de energia elétrica da tecnologia de travagem regenerativa *i-loop* para cada cenário apresentado

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
Nº travagens	30	50	40	60	70	100	80	150
Energia gerada	18 Wh	30 Wh	24 Wh	36 Wh	42 Wh	60 Wh	48 Wh	90 Wh

Embora a grande mais-valia do sistema apresentado seja a possibilidade de armazenar uma elevada quantidade de energia, 7 Wh a cada 10 s, a capacidade de geração é reduzida relativamente ao consumo elétrico por parte dos componentes elétricos, sobretudo nos cenários de autoestrada. De acordo com o fabricante, este sistema poderá reduzir o consumo de combustível de um veículo ligeiro em cerca de 10% o que, a comprovar-se, será uma grande mais-valia para o setor automóvel.

4.5. Tecnologia piezoelétrica

De acordo com a pesquisa efetuada acerca da recuperação de energia através de transdutores piezoelétricos aplicado em veículos, a sua baixa eficiência e níveis de geração na escala de μW e mW , não apresentam rentabilidade para uma aplicação futura. Deste modo, no presente estudo considera-se que esta tecnologia não tem a capacidade de alimentar energeticamente os componentes elétricos estudados. Ainda assim, considera-se que esta tecnologia possa ser instalada no interior dos pneus e alimente os pequenos sensores TPMS, que apresentam consumos de energia entre 30-45 μW , não necessitando de recorrer à energia proveniente das baterias principais do veículo e assim eliminando mais sistemas de transferência de energia e respetiva cablagem.

4.6. Comparação entre o Consumo e a Geração de energia elétrica para as diferentes configurações

De seguida será feita a comparação entre a quantidade de energia elétrica que é possível gerar através das várias tecnologias apresentadas e o consumo elétrico estimado dos diversos componentes que cada veículo escolhido apresenta. Em alguns valores de energia gerada será incluído um coeficiente de segurança em termos percentuais, que será de seguida definido para os diversos cenários considerados. De referir ainda que devido aos baixos valores de energia gerada pelos transdutores piezoelétricos, esta tecnologia não será considerada nas análises seguintes.

- **MCI**

Para o veículo com a configuração MCI escolhido foi possível obter uma estimativa do consumo elétrico dos vários componentes, já referido na tabela 9, e de acordo com os dados da possível energia gerada apresentados na tabela 27, é possível obter uma estimativa da contribuição de energia gerada limpa para uma aplicação futura neste tipo de configuração automóvel. Considerando os dados apresentados na tabela 23 relativamente à tecnologia fotovoltaica, e atendendo a que estes são referentes a condições de exposição contínuas, no cenário 3, optou-se por apenas considerar-se 70% da energia máxima gerada. Já para a tecnologia termoeétrica, devido ao seu valor apresentado na tabela 24 ser considerado com um ΔT ideal a qual só se verifica com o aquecimento do sistema de escape, considerou-se apenas 80% da sua energia gerada.

Tabela 27: Energia gerada das diferentes tecnologias para cada cenário apresentado para uma configuração MCI

Tecnologia	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fotovoltaica	85,5 Wh	0 Wh	7,98 Wh	0 Wh
Termoelétrica	75,2 Wh	75,2 Wh	15,2 Wh	15,2 Wh
Suspensão Regenerativa	2500 Wh	2500 Wh	1200 Wh	1200 Wh
Travagem Regenerativa	18 Wh	24 Wh	42 Wh	48 Wh
Total gerado	2678,7 Wh	2599,2 Wh	1265,2 Wh	1263,2 Wh

É de seguida apresentada graficamente a comparação da energia gerada através das várias tecnologias com o consumo elétrico dos diversos componentes ordenados por funções.

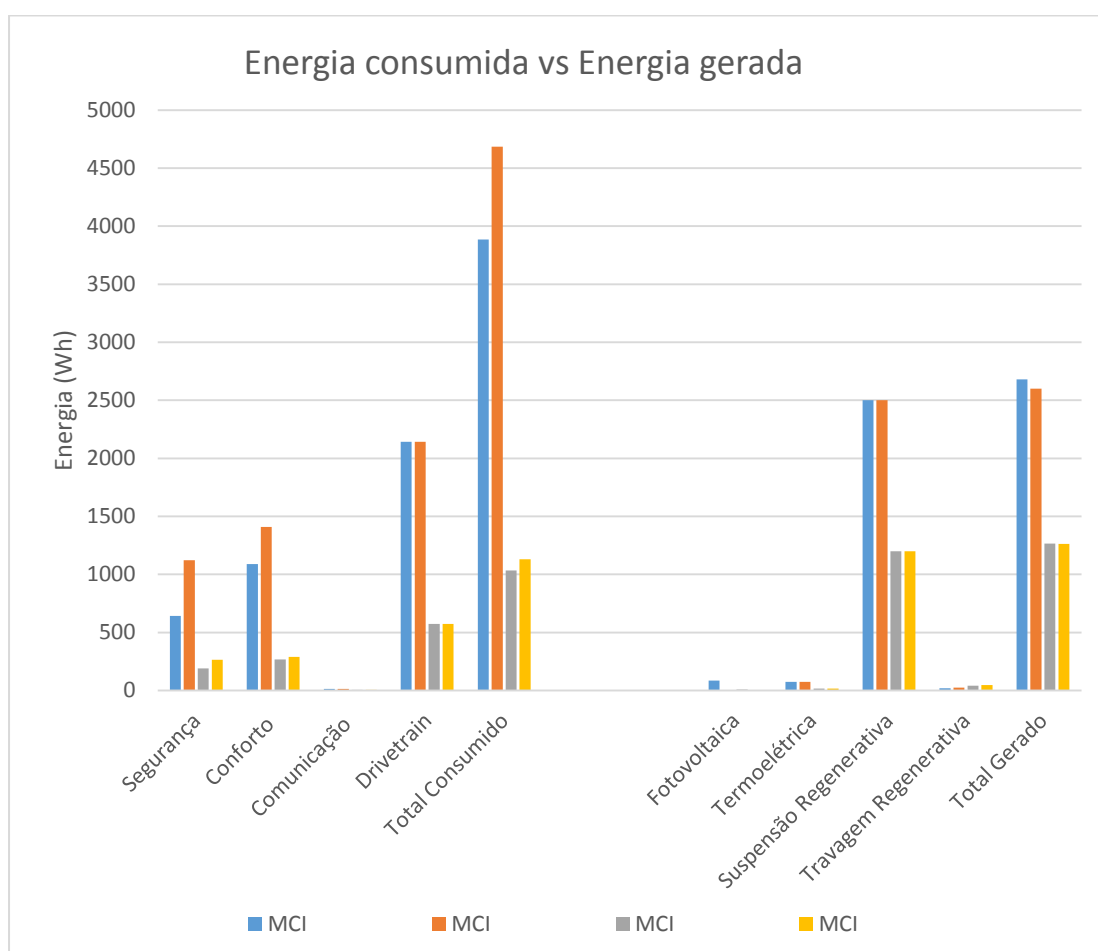


Figura 41: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração MCI

Através do gráfico apresentado na Figura 41 é possível verificar a elevada contribuição do sistema de suspensão regenerativa apresentado pela empresa Intertronic Gresser GmbH, mesmo considerando níveis de produção mínimos em cada cenário. Este sistema consegue alimentar uma elevada componente da energia consumida pelos diversos componentes elétricos, sendo a que apresenta o maior potencial neste setor e deverá ser tida em conta por parte dos fabricantes deste tipo de configuração automóvel.

Para o caso das tecnologias termoelétrica e solar combinadas entre si, é possível gerar um total de 160,7 Wh para o cenário 1, que poderá ser utilizado para suportar o consumo energético por parte da iluminação externa e interna, com um total estimado de 105,5 Wh.

Relativamente ao sistema de travagem regenerativa nas condições apresentadas, oferece um pequeno contributo para este tipo de configuração, sendo mais vantajoso instalar um sistema KERS, auxiliando apenas no esforço mecânico por parte do veículo.

De realçar que a possível geração de energia por parte deste tipo de tecnologias todas combinadas entre si, contribuem em cerca de 69% e 55% do consumo energético para os cenários 1 e 2, respetivamente, e para os cenários 3 e 4, uma produção em excesso de 232,5 Wh (22%) e 133,1 Wh (12%) respetivamente, que poderá ser injetada no sistema principal de armazenamento de energia do veículo, tornando-o assim autossustentável no que diz respeito ao fornecimento de energia para alimentar os componentes elétricos convencionais, normalmente alimentados pelo alternador convencional e pela bateria principal do veículo.

- **PHV**

Para o veículo apresentado possuidor de uma configuração híbrida, através da tabela 15, é possível obter uma estimativa de acordo com a utilização dos vários componentes elétricos, das necessidades energéticas que é necessário fornecer para garantir um funcionamento seguro quando requeridos pelo utilizador do veículo. Para reduzir o fornecimento desta quantidade de energia fornecida pelo sistema primário de armazenamento de energia, através da tabela 28, é possível estimar a energia limpa regenerada de cada tecnologia para cada cenário e que poderá ser incorporada em modelos futuros possuidores da mesma configuração.

Relativamente à tecnologia fotovoltaica, para o cenário 3, optou-se por se considerar apenas 70% da energia gerada face ao valor apresentado na tabela 23, enquanto no cenário 1 é considerada a totalidade da energia gerada através da sua contínua exposição solar.

Devido a esta configuração possuir uma componente de propulsão elétrica, as temperaturas existentes no sistema de escape não são máximas ao longo do tempo, optando-se assim por se considerar apenas 60% relativamente aos cenários 1 e 2, e 20% para os cenários 3 e 4 face à energia gerada pelos módulos termoelétricos apresentada na tabela 24.

Relativamente às tecnologias de suspensão e travagem regenerativa, serão utilizados os dados referentes as tabelas 25 e 26 respetivamente.

Tabela 28: Energia gerada pelas diferentes tecnologias para cada cenário apresentado, para uma configuração PHV

Tecnologia	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fotovoltaica	85,5 Wh	0 Wh	8 Wh	0 Wh
Termoelétrica	56,4 Wh	56,4 Wh	3,8 Wh	3,8 Wh
Suspensão Regenerativa	2500 Wh	2500 Wh	1200 Wh	1200 Wh
Travagem Regenerativa	18 Wh	24 Wh	42 Wh	48 Wh
Total gerado	2659,9 Wh	2580,4 Wh	1253,8 Wh	1251,8 Wh

Seguidamente é apresentado graficamente a comparação da energia gerada através das várias tecnologias face ao consumo apresentado dos diversos componentes elétricos ordenados por funções.

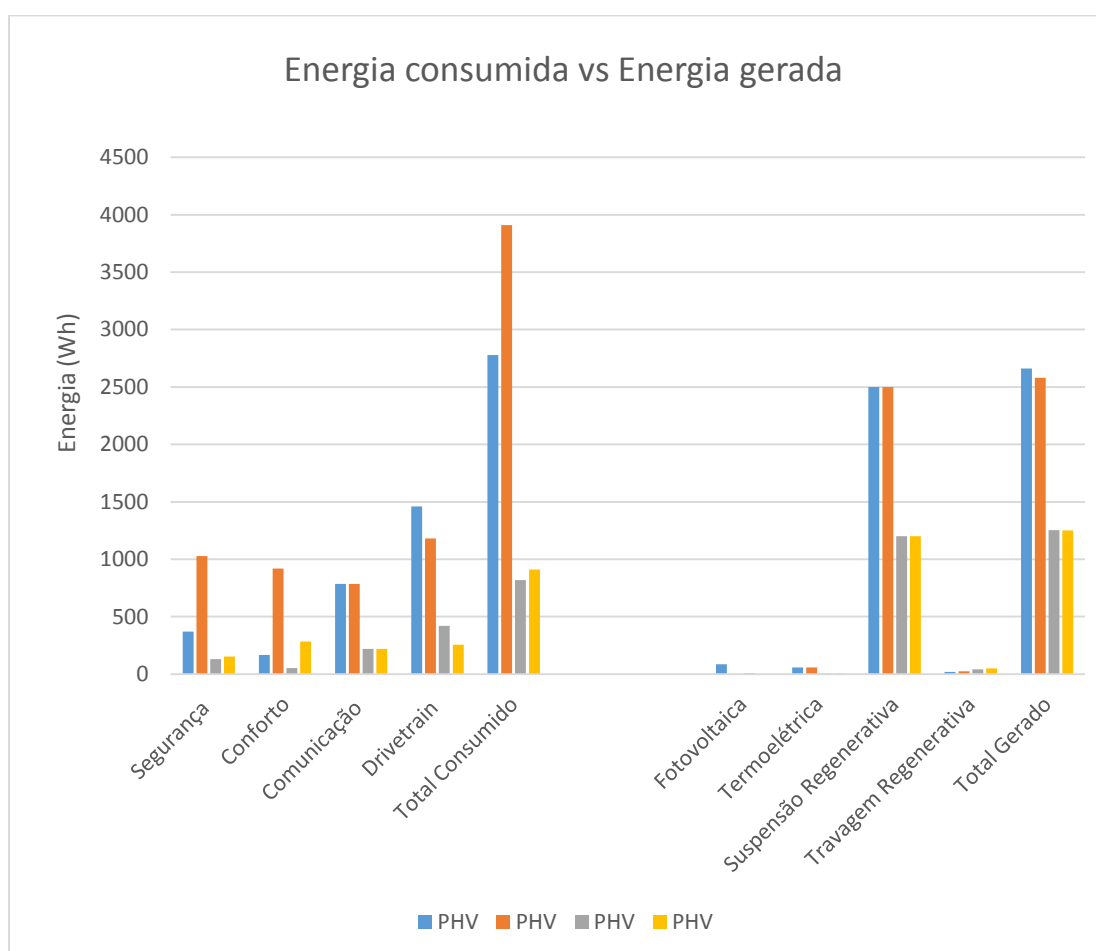


Figura 42: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração PHV

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 42, mais uma vez é notório a supremacia do sistema de suspensão regenerativa apresentada pela empresa Intertronic Gresser GmbH, que no cenário 3 e 4 é possível fornecer toda a quantidade energética requerida pelos componentes elétricos. Visto este veículo possuir uma configuração mais *offroad*, o que lhe confere maior facilidade de se mover em pavimentos mais irregulares, a energia regenerada por esta tecnologia poderá ser bastante mais elevada, o que lhe garante um fornecimento de energia elétrica muito superior face ao seu consumo elétrico.

Já as tecnologias fotovoltaica e termoeétrica combinadas entre si poderão gerar 141,9 Wh e 11,8 Wh para os cenários 1 e 3 respetivamente, o que devido à configuração híbrida possuidora de uma parte elétrica onde a energia gerada pelos módulos termoeletricos é nula, não lhe permite suportar nenhuma quantidade energética em relação ao consumo requerido por cada função do sistema elétrico.

Relativamente à tecnologia de travagem regenerativa, a maior parte de veículos possuidores deste tipo de configuração utiliza sistemas KERS, tornando-os assim “elétricos” mas apenas utilizando a energia mecânica utilizada nas desacelerações e travagens, sendo uma grande mais-valia em ambientes citadinos, onde condições de pára-arranca são muito usuais. Já a tecnologia *i-loop* apenas se encontra em veículos da marca nipónica Mazda.

Se todas as tecnologias apresentadas forem combinadas entre si nas condições anteriormente apresentadas, é possível tornar este veículo em 95% e 66% autossustentável para os cenários 1 e 2 respetivamente. Já para os cenários citadinos 3 e 4, é possível gerar energia em excesso, nomeadamente 434,4 Wh (53%) e 342,1 Wh (38%) para cada cenário, que poderá ser introduzida na parte elétrica da locomoção do veículo, aumentando assim a sua autonomia elétrica e consequentemente melhorias no consumo de combustível e reduções das emissões de gases poluentes para a atmosfera.

- **AEV**

Relativamente ao veículo elétrico utilizado nesta investigação, através da tabela 21 é possível obter uma estimativa para cada cenário apresentado das necessidades energéticas para garantir um correto funcionamento por parte de cada função relativamente aos componentes elétricos deste veículo. Comparativamente com os restantes veículos MCI e PHV, esta configuração é a que mais apresenta uma maior percentagem de consumo por parte dos componentes elétricos, o que sendo este locomovido por energia elétrica, uma nova recolha de energia proveniente de sistemas regenerativos irá com certeza trazer benefícios a para a sua autonomia.

Relativamente à tecnologia fotovoltaica, para a presente configuração elétrica optou-se por considerar a totalidade da energia gerada para o cenário um e 70% para o cenário três relativamente à energia gerada disponibilizada na tabela 23.

Já a tecnologia associada aos módulos termoeletrônicos, devido à isenção de sistema de escape não será considerada nesta investigação, embora possa ser futuramente instalado nas paredes dos motores elétricos aproveitando assim a sua energia térmica dissipada.

Na tabela 29 é possível obter os valores de energia gerada por parte de cada tecnologia para os cenários anteriormente descritos.

Tabela 29: Energia gerada das diferentes tecnologias para cada cenário apresentado para uma configuração AEV

Tecnologia	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fotovoltaica	85,5 Wh	0 Wh	8 Wh	0 Wh
Suspensão Regenerativa	2500 Wh	2500 Wh	1200 Wh	1200 Wh
Travagem Regenerativa	18 Wh	24 Wh	42 Wh	48 Wh
Total gerado	2603,5 Wh	2524 Wh	1250 Wh	1248 Wh

Seguidamente é apresentado graficamente a comparação da energia gerada através das várias tecnologias face ao consumo apresentado dos diversos componentes elétricos ordenados por funções.

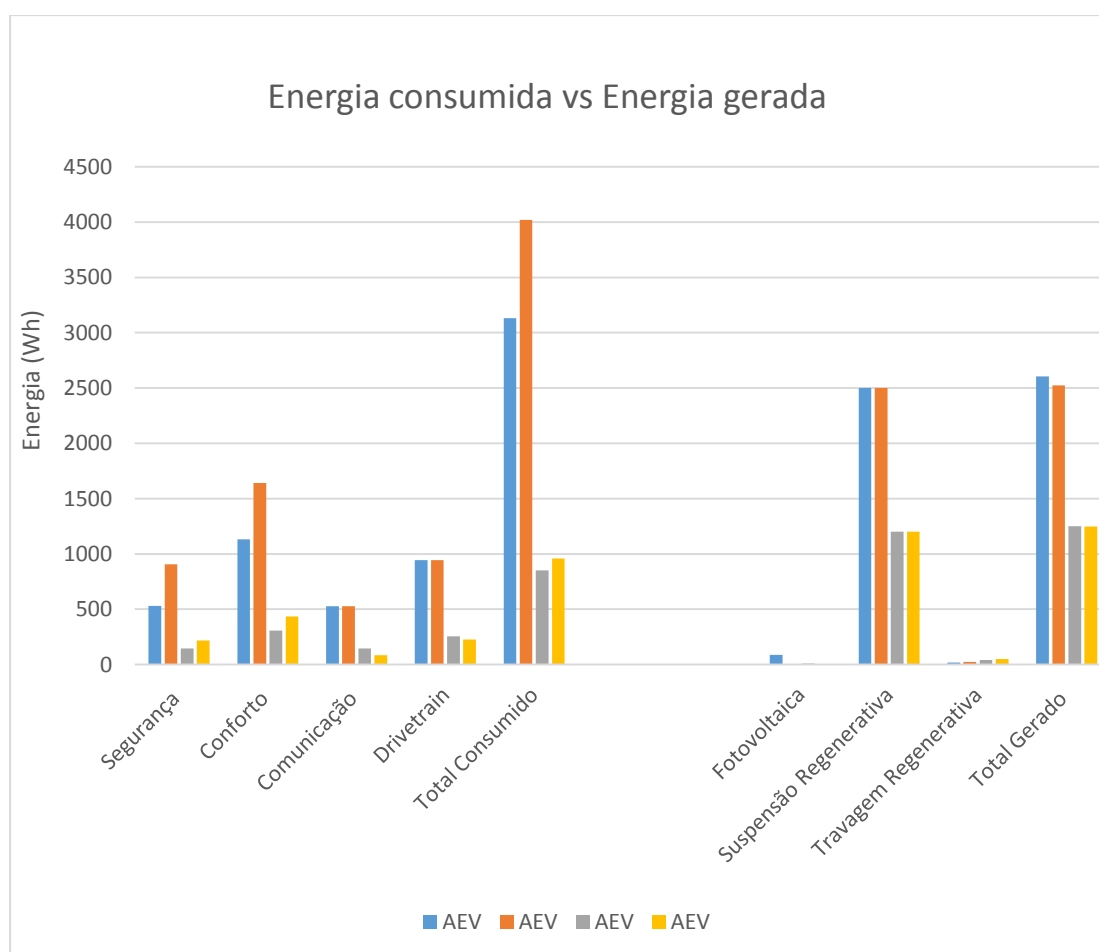


Figura 43: Comparação entre energia consumida e energia gerada por parte de cada tecnologia para uma configuração AEV

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 43, mais uma vez a tecnologia referente a geração de energia que apresentam valores consideravelmente vantajosos recai sobre o sistema de suspensão regenerativa apresentado pela empresa Intertronic Gresser GmbH que através de um gerador linear consegue tornar este veículo autossustentável nos cenários citadinos, onde existe maior irregularidade no pavimento.

Se as três tecnologias apresentadas forem instaladas e produzirem energia em comum nas condições apresentadas, é possível alimentar no cenário um, 83% dos componentes elétricos que representam de acordo com a tabela 22, 5.3% da totalidade do consumo total elétrico do veículo. Já no cenário dois para uma totalidade de 7,4% de consumo por parte dos componentes elétricos face ao consumo elétrico total do veículo, 63% poderão ser produzidos através destas tecnologias. Sendo que o consumo energético deste veículo apresenta valores de 21,1 kWh por cada 100 km percorridos (Fueleconomy,2016), é possível mesmo assim garantir um aumento de 12 km na autonomia do veículo para os respectivos cenários. Relativamente aos cenários citadinos, a produção de energia proveniente das tecnologias referidas, apresentam valores capaz de cobrir na totalidade a necessidade energética dos componentes elétricos e ainda ser possível recarregar o sistema principal de armazenamento de energia em 398,9 Wh (46 %), o equivalente a um incremento na autonomia de 5,8 km, se juntarmos a energia dispensada por parte das baterias para alimentar os componentes elétricos relativo ao cenário três e para o cenário quatro um produção em excesso de 289 Wh (30 %) que equivale a um incremento de 5,9 km de autonomia.

5. Conclusões

As emissões de gases poluentes para a atmosfera provenientes de veículos terrestres representam uma grande contribuição para os problemas ambientais que se têm vindo a alargar com a expansão da população e o consequente aumento de veículos. Estes problemas têm originado a imposição de metas obrigatórias a alcançar por parte dos governos, em que o principal objetivo passará pela transição de veículos convencionais para veículos onde a sua locomoção seja puramente elétrica, tornando assim as emissões nulas. Em alguns países essa realidade já está implementada e existe já legislação que proíbe a venda de veículos com MCI a partir de 2025, tendo vários fabricantes já anunciado que apenas irão produzir veículos híbridos e puramente elétricos.

Embora a transição da configuração de veículos seja essencial, o grande entrave reside na pouca autonomia que este tipo de veículos apresenta face aos alimentados por um motor de combustão interna. Com as baterias aplicadas nos veículos elétricos ainda em fase de desenvolvimento e com tempos de carregamento elevados, será necessário desenvolver tecnologias que possam transformar todo o tipo energia desperdiçada durante a sua locomoção em energia elétrica e, consequentemente, recarregar as baterias e alimentar componentes elétricos, aumentando assim a sua autonomia, podendo mesmo, em alguns casos, torná-los autossustentáveis.

Várias empresas e investigadores têm vindo a desenvolver tecnologias de *energy harvesting* para aplicação em veículos terrestres, onde promovem a possibilidade de recuperar energia através de fontes externas, como os módulos fotovoltaicos desenvolvidos pela Panasonic já incorporados no Toyota Prius e com previsões de serem instalados nos modelos do fabricante Tesla. Ou através de fontes internas provenientes dos desperdícios de um veículo como o caso de módulos termoelétricos que aproveitam a energia térmica desperdiçada através de gases de escape e das perdas nas paredes dos motores, sistemas de suspensão e travagem regenerativa que aproveitam a energia mecânica desperdiçada. Ou ainda através de transdutores piezoelétricos aplicados no pneu que devido à deformação causada nos seus elementos provocam uma diferença de potencial e consequentemente geração de energia elétrica.

Após uma análise realizada às tecnologias existentes e estudos realizados por investigadores e empresas nesta área, foi possível obter valores de geração de energia para cada tecnologia, onde o sistema de suspensão regenerativa desenvolvido pela empresa Intertronic Gresser GmbH se destaca pela sua gama de valores na ordem dos kWh a cada 100 km, mesmo em pavimentos com uma rugosidade reduzida. Embora este sistema ainda esteja numa fase intermédia de desenvolvimento tecnológico, apresenta valores muito interessantes e com grande potencial para uma futura aplicação em veículos elétricos. Relativamente à tecnologia de *energy harvesting* que utiliza transdutores piezoelétricos, esta apresenta gamas de valores na ordem de mW e μ W, e não se revelam muito promissores numa futura aplicação

para auxílio do sistema de armazenamento de energia principal do veículo, sendo apenas utilizados para tornar sensores TPMS autônomos.

Relativamente às restantes tecnologias de *energy harvesting* estudadas, estas permitem gerar quantidades energéticas na ordem dos Watt, que embora sejam valores reduzidos, representa uma mais-valia na alimentação de componentes elétricos do veículo e, consequentemente, um aumento na autonomia e redução de combustível no que diz respeito aos veículos possuidores de um motor de combustão interna, seja este principal ou apenas de auxílio ao elétrico. De realçar que a tecnologia fotovoltaica apenas pode gerar energia durante as horas em que o Sol incide sob o painel, e relativamente à tecnologia termoelétrica ao ser instalada no sistema de escape, só poderá ser instalada em veículos com configuração MCI e PHV.

Como o principal objetivo desta investigação se direciona para a contribuição de energia elétrica proveniente destas tecnologias poderem abranger toda a necessidade dos componentes elétricos de um veículo, foram escolhidos três veículos de configurações distintas e estimados quatro cenários, sendo dois em autoestrada com uma duração média de duas horas e meia, e os restantes dois em ambiente citadino com uma duração média de 40 minutos. Através da informação disponibilizada nos manuais dos respetivos veículos, foi possível obter a potência requerida por parte de cada componente e atribuir-lhe um tempo de utilização, em segundos, e assim obter uma estimativa do consumo elétrico total proveniente dos componentes para cada configuração de veículo nos respetivos cenários.

Após verificar a contribuição das tecnologias e respetiva energia gerada, constatou-se que, no caso do veículo de configuração MCI, através da combinação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica é possível cobrir para o cenário 1 o consumo total de iluminação interna e externa, e para os cenários 3 e 4 com todas as tecnologias presentes, sendo que a produção de energia através da tecnologia fotovoltaica para o cenário 4 é nula, foi possível cobrir todas as necessidades para alimentar os componentes elétricos presentes. Para as restantes configurações, tanto PHV como AEV, estas tecnologias combinadas entre si oferecem a possibilidade de cobrir as necessidades energéticas necessária para um funcionamento correto de todos os componentes para os cenários citadinos, embora o sistema de suspensão regenerativa apresente a maior parcela de contribuição de energia.

Conclui-se assim que, mediante certas condições/cenários, é possível tornar os componentes elétricos de um veículo autossustentáveis a partir de diferentes tecnologias de *energy harvesting* e assim proporcionar um incremento na autonomia, designadamente em veículos elétricos.

Para o veículo elétrico em questão, foi possível estimar um incremento de autonomia em cerca de 12 km para os cenários um e dois, embora a totalidade do consumo energético dos componentes elétricos não tenha sido abrangida pelas diversas tecnologias de *energy harvesting*, sendo que para os cenários 3 e 4 foi possível abranger toda a necessidade energética através destas tecnologias e um incremento de 5,8 km e 5,9 km, respetivamente, na autonomia do veículo.

No seguimento do estudo realizado, existem várias oportunidades para trabalhos futuros, de modo a dar seguimento a esta investigação.

Em primeiro lugar, pretende-se realizar uma componente experimental da investigação, implementando as diferentes tecnologias em diferentes veículos e aferir a sua real contribuição em diferentes cenários de teste. Deste modo será possível validar em ambiente real a contribuição das diferentes tecnologias na alimentação de equipamentos elétricos dos veículos.

Em segundo lugar, o estudo pode ser alargado a mais veículos, com especial ênfase em veículos pesados, onde a quantidade de energia disponível é mais elevada, podendo-se conseguir gerar mais energia e com isso contribuir de forma mais significativa para a sustentabilidade destes veículos.

Em terceiro lugar, poderão ainda ser realizadas análises económicas às diferentes tecnologias e análises custo-benefício, de modo a avaliar não só a viabilidade técnica destas tecnologias, mas também a sua viabilidade económica.

Bibliografia

AENews (2009) @ <<http://www.alternative-energy-news.info/goodyear-electric-tire-concept/>>, Alternative Energy- Alternative energy news, and information about renewable energy technologies. Acedido em Junho de 2017.

Arbib, J., Seba, T., *“Rethinking Transportation 2020-2030”*, Maio, 2017.

Audi (2016) @ <<https://www.audi-mediacycenter.com/de/pressemitteilungen/das-neuartige-stosssdaempfersystem-von-audi-neue-technologie-spart-kraftstoff-und-steigert-komfort-6551>>, Audi MediaCenter, *“Das neuartige Stoßdämpfersystem von Audi: Neue Technologie spart Kraftstoff und steigert Komfort”*, acedido em Maio de 2017.

Automonitor (2016) @ <<http://automonitor.pt/2016/08/16/comercio-e-industria/holanda-noruega-e-india-querem-banir-carros-com-motor-de-combustao/>>, Luís M. Mota, *“Holanda, Noruega e Índia querem banir carros com motor de combustão”*, acedido em Março de 2017.

Automonitor (2017) @ <<http://automonitor.pt/2017/01/01/novidades/mitsubishi-outlander-plev-em-nome-da-eficiencia/>>, *“Mitsubishi Outlander PHEV: Em nome da eficiência”*, acedido em Maio de 2017.

Avadhany S.N, *“Analysis of hydraulic Power Transduction in Regenerative Rotary shock Absorbers as Function of Working Fluid Kinematic Viscosity,”* MIT 2009

Beeby S.P. et al., *“Energy harvesting vibration sources for microsystems applications”*, Meas. Sci. Technol. 17 (2006) R175-R195

Bloomberg (2016) @ <<https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>>, Tom Randall, *“Here’s How Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis”*, acedido em Março de 2017.

BNEF (2016) @ <<https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>>, *“Bloomberg New Energy Finance, Electric vehicles to be 35% of global new car sales by 2040”*, acedido em Março de 2017.

Carvalho, A. Et al., *Flywheel -“A Bateria Electromecânica”.. Millenium*, 1997

Casimiro, F., Gaspar, P. D. e Gonçalves, L. C. “*Aplicação do princípio piezoelétrico no desenvolvimento de pavimentos para aproveitamento energético.*” Universidade da Beira Interior, Portugal, 2009

Chan, C. C., “*The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*”, in Proceedings of the IEEE, Vol. 95, N.º 4, Abril de 2007.

Cheng-Ting Hsu. Et al., “*Experiments and simulations on low-temperature waste heat harvesting system by thermoelectric power generators*”, Applied Energy 88 (2011) 1291-1297, 2010 Elsevier Ltd.

Chiara, F., Canova, M., “*A review of energy consumption, management, and recovery in automotive systems, with considerations of future trends*”, Sage Journals, 2012

Clegg. SJ, “*A Review of Regenerative Braking Systems*”. Institute of Transport Studies, University of Leeds, Working Paper 471. White Rose 1996

Duarte and Ferreira, “*Energy harvesting on railway tracks: state-of-the-art*”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Paper 1600016, 2016

Duarte and Ferreira, “*Energy harvesting on road pavements: state of the art*”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Paper 1500005, 2015

Ehsani, M., Gao, Y., Emadi, A., Gay, S., “*Modern Electric, Hybrid electric, and Fuel Cell Vehicles*”, Illinois Institute of Technology, CRC PRESS, 2005.

Emadi, A., et al., (2005), “*Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations*”. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2005. 54(3): p. 763-770.

Emadi, A., L. Young-Joo, K. Rajashekara, (2008), “*Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles*, Industrial Electronics”, IEEE Transactions on.

Espinosa N. et al., “*Modeling a thermoelectric generator applied to diesel automotive heat recovery*”, J. Electron. Mater. 39 (2010) 1446-1455.

Extreme Tech (2013) @ <<http://www.extremetech.com/extreme/154405-volvo-hybrid-drive-60000-rpm-flywheel-25-boost-to-mpg0067>>, Bill Howard, “*Volvo hybrid drive: 60,000 rpm flywheel, 25% boost to mpg*”, acedido em Abril de 2017.

ExxonMobil (2016) @

<<http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energyoutlook/transportation>>, “A global economy on the move”, acessado em Março de 2017.

Farrington R. and J. Rugh, “*Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range*”, NREL 2000

Fernandes F. M. Helder, “*Veículos Elétricos - Sistemas Automóveis*”, Mestrado em Electrónica e Computadores, ISEP, 2007

FODOR. M. G., R. RED FIELD., “*The Variable Linear Transmission for regenerative damping in Vehicle Suspension Control*”, Vehicle System Dynamics, 22 (1993). pp. 1-20

Fueleconomy (2016) @ <<https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=38172>>, “*Energy Efficiency & Renewable Energy*”, acessado em Março de 2017.

Giannouli M., Yianoulis P., “*Study on the incorporation of photovoltaic systems as an auxiliary power source for hybrid and electric vehicles*”, Solar Energy 86 (2012) 441-451, 2011 Elsevier Ltd.

Green Car Congress (2009) @ <<http://www.greencarcongress.com/2009/02/mit-students-de.html>>, “*Green Car Congress - Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility*”, acessado em Junho de 2017.

Gysen B.L.J. et al., “*Efficiency of a Regenerative Direct-Drive Electromagnetic Active Suspension*”, IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.60, No.4, May 2011.

Hanergy (2016) @ http://www.hanergy.com/en/content/details_38_3610.html, Hanergy Holding Group Limited., acessado em Maio de 2017.

Harb Adnan, “*Energy harvesting: State-of-the-art*”, Renewable Energy 36 (2011), 2010 Elsevier Ltd.

Harrop Peter (2009) @ “*energy harvesting volume driven by cars*”, publicado a 23/7/2009 em <<http://www.electricvehiclesresearch.com/articles/1569/energy-harvesting-volume-driven-by-cars>>, acessado em Maio de 2017.

Honda (2016) @ HONDA, Civic Sedan 2016 owner’s manual, 2016. Disponível em: <<http://www.autogenius.info/>>, acessado em Julho de 2017.

Hussain Q.E. et al., “*Thermoelectric exhaust heat recovery for hybrid vehicles*”, SAE Int. J. Engines 2 (2009) 1132-1142.

IEA (2016) @

<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExecutiveSummaryEnglish.pdf>>, IEA - international energy agency , acedido em Abril de 2017.

IEA (2016) @

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyEfficiencyIndicatorsHighlights_2016.pdf>, International Energy Agency, “*Energy efficiency Indicators highlights*”, OECD/IEA, acedido em Março de 2017.

Ikoma K. et al., “*Thermoelectric Module and Generator for Gasoline Engine Vehicles*”, IEEE Transactions on, 1998. 0-7803-4907-5/98

Intertronic (2016) @

<http://www.interpatent.de/unsere_innovationen_strom_aus_der_federung.html> “*Unsere Innovationen - Strom aus der Federung - SAF*”, Intertronic Gresser GmbH, acedido em Abril de 2017.

Joshi, R.P., Deshmukh, A. P., (2006), “*Hybrid electric vehicles: the next generation automobile revolution*” in IEEE Conference on Electric, USA.

Kawamoto Y. et al., “*Electro-mechanical suspension system considering energy consumption and vehicle manoeuvre*”, Vehicle System Dynamics Vol. 46, Supplement, 2008, 1053-1063

Kazmierski Tom J. and Beeby Steve, “*Energy Harvesting Systems, Principles, Modeling and Applications*”, Springer 2011

Kim K. S. et al., “*Thermoelectric power generation system for future hybrid vehicles using hot exhaust gas*”, J. Electron. Mater. 40 (2011) 778-783.

Konrad Reif, “*Fundamentals of Automotive and Engine Technology Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems*”, Bosch Professional Automotive Information, published in Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

Krannich (2017) @

<<http://pt.krannich-solar.com/pt/produtos/paineis-solares/panasonic.html>>, Krannich - The global PV experts, acedido em Maio de 2017.

LaGrandeur et al., “Automotive waste heat conversion to electric power using skutterudite, TAGS, PbTe and BiTe”, International Conference on Thermoelectrics (2006) 343-348.

leaseplan (2015) @ <<https://www.LeasePlan.pt>>, Leaseplan - “A fiscalidade verde e as oportunidades para as frotas empresariais”, acedido em Abril de 2017.

Löhndorf, M. et al., “Evaluation of Energy Harvesting Concepts for Tire Pressure Monitoring Systems”. In Proceedings of the Technical Digest PowerMEMS 2007, Freiburg, Germany, 28-29 November 2007; pp. 331-334.

Lugenergy (2017) @ <<http://www.lugenergy.pt/category/carregar-veiculo-eletrico/>>, Lugenergy - “Soluções de Carregamento para Veículos Elétricos”, acedido em Abril de 2017.

Marques M., “Produção de automóveis. Principais tendências”, Pwc, Outubro 2016

Martins J., “Motores de Combustão Interna”, quarta edição, Publindústria 2013

Mazda (2017) @ <<http://www.mazda.com/en/innovation/technology/env/i-eloop/>>, Mazda Motor Corporation, acedido em Junho de 2017

Mehrdad Ehsani et al. “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design.” CRC PRESS 2005

Mitsubishi (2014) @ Mitsubishi Motors Corporation, Outlander PHV owner’s manual, 2014. Disponível em: <<http://www.autogenius.info/>>, acedido em Julho de 2017.

Mori M. et al., “Simulation of fuel economy effectiveness of exhaust heat recovery system using thermoelectric generator in a series hybrid”, SAE Int. J. Mater. Manuf. 4 (2011) 1268-1276.

Motortrend (2013) @ <<http://www.motortrend.com/news/volvo-s60-flywheel-kers-prototype-first-drive>>, MotorTrend Magazine TEN: the Enthusiast Network, acedido em Junho de 2017.

Noaman Makki Remon Pop-Iliev., “PIEZOELECTRIC POWER GENERATION IN AUTOMOTIVE TIRES”, Conference NDT in Canada 2011

Noaman Makki, Remon Pop-Iliev, “Piezoceramic benders attached to pneumatic tires use the cyclic deformation of the contact patch to generate energy for onboard electronics”. Published online, 2011

Nuon Solar Team (2017) @ <<http://www.nuonsolarteam.nl/>>, Nuon Solar Team, acedido em Maio de 2017.

Orr B., et al., “*A review of car waste heat recovery systems utilizing thermoelectric generators and heat pipes*”, Applied Thermal Engineering 101 490-495, 2016 Elsevier Ltd., 2016

Otso J. Jousimaa, et al., “*Energy Harvesting System for Intelligent Tyre Sensors*”, 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium

Panasonic (2016) @ <<http://news.panasonic.com/global/press/data/2017/02/en170228-3/en170228-3.html>>, Panasonic corporation, acedido em Maio de 2017.

Peng Li et al., “*Eletromagnetic Regenerative Suspension System for Ground Vehicles*”, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics *power system architectures and configurations, Vehicular Technology*”, IEEE Transactions on, 2014.

Radhika Kapoor, C. Mallika Parveen., “*Comparative Study on Various KERS*”, Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III

Robert Bosch GmbH,” *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*”, 5th Edition, 2007

SAE (2013) @ <<http://articles.sae.org/11845/>>, “*Mazda introduces supercapacitor-type regenerative braking*”, acedido em Maio de 2017.

Saidur R. et al., “*Technologies to Recover Exhaust Heat From Internal Combustion Engines*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012.

Silentsensors (2017) @ <<http://www.silentsensors.com>>, SilentSensors Ltd., acedido em Junho de 2017

SPS (2014) @ <<http://www.spsvision.com/?p=91>>, SPSVISION, acedido em Junho de 2017.

Stanford (2010) @ Derek Mendez. “*Genshock Technology*”, 7/7/2011 publicado em <<http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/mendez1/>> acedido em Junho de 2017.

Tang B. T., et al., “*A research on thermoelectric generator's electrical performance under temperature mismatch conditions for automotive waste heat recovery system, Case Studies in Thermal Engineering*”, (2015)143-150, 2015 Elsevier Ltd.

Technology news (2009) @

<https://www.pacw.org/fileadmin/doc/SpringIssue09/news_tech_spring09.pdf>, Ryan Bavetta, Zack Anderson, Shakeel Avadhany, “*Shock- absorber Power from bumps in the road*”, acedido em Maio de 2017.

Tesla (2014) @ Tesla, MODEL S OWNER’S MANUAL, 2012-2013 TESLA MOTORS. Disponível em: <<http://www.autogenius.info/>>, acedido em Julho de 2017.

Tesla (2017) @ < https://www.tesla.com/en_GB/models>, Acedido em Maio de 2017.

Tie Fui Siang Fui, Tan Chee Wei, “*A review of energy sources and energy management system in electric vehicles*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20 (2013) 82-102

Tom J. Ka’zmierski, Steve Beeby, “*Energy Harvesting Systems Principles, Modeling and Applications*”, Springer 2011

Torotrak (2014) @ <<http://www.torotrak.com/products-partners/products/flybrid/>>, Torotrak Group, acedido em Junho de 2017.

Toyota (2017) @ <<https://www.toyota.pt/world-of-toyota/articles-news-events/2016/novo-prius-plug-in.json>>, Toyota Motor, acedido em Maio de 2017.

UBC, 2010 @ <http://c21.phas.ubc.ca/article/energy-use-cars-4-regenerative-braking-systems#footnoteref1_w7bnpni>, UBC - University of British Columbia, acedido em Junho de 2017.

Valente Sergio, Ferreira Helder, “*Braking Energy Regeneration using hydraulic systems*”, Mestrado em Electrónica e Computadores - Automação e Sistemas. SIAUT 2009

Viana S., “*Protótipos: Conversão Fotovoltaica de Energia Solar*”, Eco-Escolas - Formação Escola da Energia 2011, LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2011

Vinnichenko et al., “*Solar car aerodynamic design for optimal cooling and high efficiency*”, Solar Energy 103 (2014) 183-190

Wardsauto (2017) @ <<http://wardsauto.com/engines/european-oems-downsizing-going-electric>>, Roger Schreffler, “*European OEMs Downsizing Going Electric*”, acedido em Março 2017.

Xiaodong Zhang, Chau T. K., *“Design and Implementation of a New Thermoelectric-Photovoltaic Hybrid Energy System for Hybrid Electric Vehicles”*, Electric Power Components and Systems, 39:511-525, 2011

Xiaodong, et al., *“Design and Implementation of a Thermoelectric-Photovoltaic Hybrid Energy Source for Hybrid Electric Vehicles”*, World Electric Vehicle Journal Vol. 3 - ISSN 2032-6653 - © 2009 AVERE

Xie X.D., Q. Wang, *“Energy harvesting from a vehicle suspension system”*, Energy 86 (2015) 385e392, 2015 Elsevier Ltd

Zhang et al., *“A Review on Energy-Regenerative Suspension Systems for Vehicles”*, Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013, July 3 - 5, 2013, London, U.K.

Zhang, P. S., *“Design of Electromagnetic Shock Absorbers for Energy Harvesting from Vehicle Suspension”*, Stony Brook University, Dezembro, 2010.

Zhongjie Li., et al., *“Electromagnetic Energy Harvesting Shock Absorbers: Design, Modeling, and Road Tests”*, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 62, NO. 3, MARCH 2013

Zia, A., (2016),” *A comprehensive overview on the architecture of Hybrid Electric Vehicles (HEV)*”, in IEEE, 2016

Zuo L. et al., *“Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicle suspensions”*, Smart Material and Structure,19(2010)

Zuo L., Pei-Sheng Zhang., *“Energy Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions”*, February 2013, Vol. 135 / 011002-1

Zuo L., Xiudong Tang., *“Large-scale vibration energy harvesting”*, Journal of Intelligent Material Systems and Structures 24(11) 1405-1430. 2013